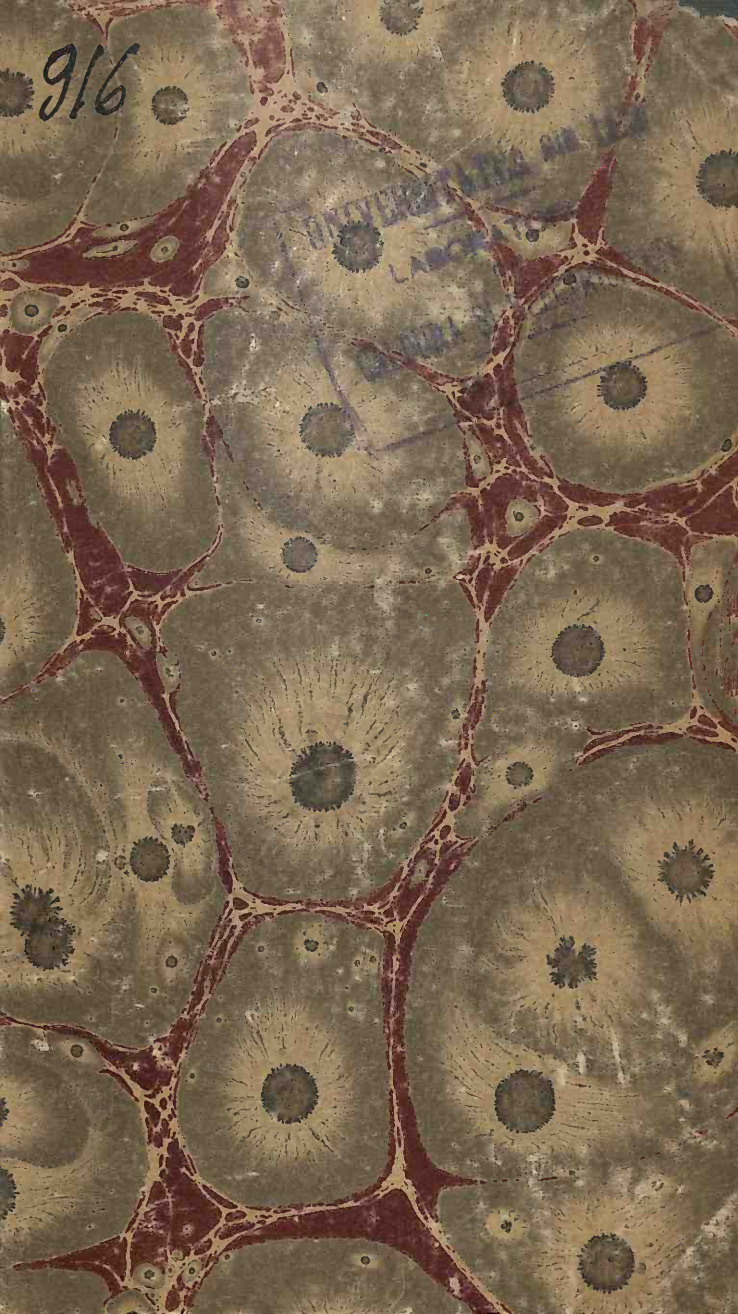
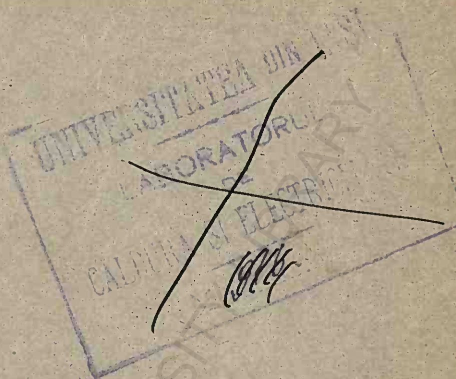

916

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY



BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

B.V.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

UNIVERSITATEA DIN IAŞI
LABORATORUL
DE
CĂLDURA ŞI ELECTRICITATE
№ 916

LES

PROJECTIONS SCIENTIFIQUES

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

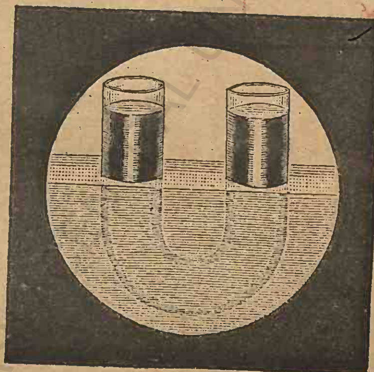
BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE

LES PROJECTIONS SCIENTIFIQUES

ÉTUDE DES APPAREILS, ACCESSOIRES
ET MANIPULATIONS DIVERSES POUR L'ENSEIGNEMENT
SCIENTIFIQUE PAR LES PROJECTIONS

PAR

H. FOURTIER ET A. MOLTENI



PARIS

A. MOLTENI — 44, rue du Château-d'Eau, 44

GAUTHIER-VILLARS & FILS — 55, quai des Grands-Augustins

1894

I. 916
Univ. „Al. I. Cuza" Fac. de Fizică
— BIBL. DE FIZICĂ —
T. I-49
BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

TABLE GÉNÉRALE

BCU ASIA CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY



AVANT-PROPOS

A la suite d'une conférence, faite, le 9 mars 1892, au Photo-Club de Paris, au cours de laquelle nous avions cherché à montrer les nombreuses applications de la lanterne de projection dans les études et l'enseignement scientifiques, M. Molteni, qui nous avait prêté un précieux concours et grâce auquel nos multiples expériences avaient pu réussir complètement, nous avait prié de résumer, en quelques notes précises, les conditions, les tours de main nécessaires pour exécuter les projections scientifiques.

A peine avions-nous ébauché ce travail que

nous ne tardions pas à nous apercevoir combien l'œuvre était délicate, et nous avons demandé à M. Molteni, qui, depuis 1860, s'occupe de cette matière, de nous aider dans cette tâche : ensemble nous avons repris les expériences les plus difficiles ; nous avons précisé, en les répétant, les points sur lesquels il importait d'appeler l'attention de l'opérateur, nous avons créé, quand cela nous a paru utile, un matériel à la fois plus simple et plus maniable, et c'est le résultat de tous ces travaux que le lecteur trouvera condensé en ce livre. Dans une très intéressante conférence faite, à la Sorbonne, aux membres du Congrès pédagogique en 1880 [1], M. Stanislas Meunier avait indiqué en ses grands traits la multiplicité des expériences qu'on peut faire avec la lanterne de projection ; mais il y avait lieu

[1] *Les projections lumineuses et l'enseignement primaire.* Conférence de M. Stanislas Meunier. Petit in-12. A. Molteni, éditeur.

de revenir, d'une façon plus complète, sur ce sujet, montrer les petites difficultés qu'on peut rencontrer et la manière de les éviter; c'est ce que nous nous sommes efforcés de faire dans ces pages, heureux si nous avons pu être de quelque utilité à ceux qui s'occupent de la tâche ardue de l'enseignement.

H. F.



BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY



CHAPITRE I

LES PROJECTIONS SCIENTIFIQUES

SOMMAIRE : But des projections scientifiques. — Historique des projections scientifiques. — Les projections et l'enseignement. — Préparation de la Conférence. — La science récréative. — But et division de l'ouvrage.

1. **But des projections scientifiques.** — Les appareils de projections constituent un des plus puissants moyens d'instruction ; non seulement ils permettent à tout un auditoire de suivre avec fruit les explications données, mais encore, par suite du grossissement obtenu, les moindres détails des phénomènes observés sont mis en évidence d'une façon absolue. Ces magiques spectacles qui aident à « connaître la raison des choses », se gravent dans l'esprit d'une façon indélébile, et jamais ne s'est mieux appliquée cette devise de nos grands vulgarisateurs, comme l'abbé Moigno, F. Hement et tant d'autres : « Voir, c'est presque savoir. »

Les épreuves photographiques, si complètes dans leurs moindres détails, offrent déjà un puissant secours au conférencier, mais, lorsqu'il s'agit de décrire les phénomènes naturels, les lois des combinaisons chimiques, les raisons des actions physiques, la lanterne de projection prend une valeur plus grande encore. Il est en effet possible, en se servant d'accessoires appropriés placés devant le condensateur de la lanterne, de reproduire la plupart des expériences qu'on exécute dans les cours ; l'objectif les agrandira sur l'écran et ce ne sont plus les seuls premiers rangs qui profiteront des leçons du maître, mais l'auditoire tout entier.

2. **Historique des projections scientifiques.** — *Il* est à remarquer que, dans l'enseignement, les projections scientifiques ont devancé en quelque sorte les projections ordinaires : tant que dans la lanterne magique du P. Kircher on n'a pu se servir que de tableaux peints à la main, on a dû se contenter d'images relativement très petites ; les forts grossissements faisaient trop ressortir les défauts du dessin, malgré tout le soin apporté

à leur confection, et la lanterne ne pouvait être ainsi qu'un objet d'amusement. Lorsque, en 1743, Lieberkuyn, membre de l'Académie royale de Berlin, inventa le microscope solaire, on chercha à utiliser la nouvelle découverte pour pénétrer les secrets de la Nature. L'abbé Nollet, Euler s'en servirent dans leurs cours et projetèrent ainsi nombre d'expériences curieuses dont ils nous ont laissé la description. Mais l'appareil, en condensant les rayons solaires sur un petit espace, créait un foyer de chaleur qui ne tardait pas à détruire les préparations examinées. Les progrès faits successivement, aux débuts de ce siècle, tant dans les méthodes d'éclairage que dans la partie optique de la lanterne, ont permis de pallier à ces inconvénients; d'autre part, il a été possible d'éclairer convenablement de plus larges surfaces, ce qui a permis de reprendre nombre d'expériences dans des conditions à la fois plus simples et plus commodes pour l'opérateur.

En Angleterre, à l'Institut Royal, en France, aux cours du Conservatoire des Arts et Métiers, aux conférences de la Sorbonne, on est parvenu

à reproduire sur l'écran toutes les expériences qu'autrefois on montrait péniblement à un petit nombre de spectateurs. Un outillage spécial a été créé et d'ingénieux chercheurs, tels que Clarke, Duboscq et Soleil, Bourbouze et tant d'autres, ont amené cette branche des projections à un degré de perfection inouï.

C'est alors qu'est arrivée la photographie, ajoutant à ces magiques spectacles des choses agissantes ses impeccables reproductions de la Nature prise sur le fait, et, dès lors, il a été permis au conférencier d'aborder les sujets les plus divers, puissamment aidé dans ses explications par les grandes vues projetées.

3. Les projections et l'enseignement. — Quel que soit, en effet, le sujet traité, la lanterne peut intervenir : la géographie sera enseignée à l'aide de vues photographiques qui donneront l'aspect des lieux, feront connaître les coutumes diverses des peuples, apporteront de précieux renseignements sur l'ethnographie ; dès lors, à la place des sèches nomenclatures du temps passé, péniblement étayées par l'étude des cartes, des suites

de tableaux d'une indéniable fidélité conduiront l'élève comme en un voyage réel, au milieu des paysages, des nationalités et lui apprendront en tous ses détails la planète qu'il habite.

L'enseignement de la cosmographie et des mondes célestes sera rendu attrayant, grâce à des photographies directes reproduisant une partie de la carte céleste dressée par nos grands observatoires, ou nous montrant les détails des principaux astres : le soleil et sa photosphère à la granuleuse surface, parsemée de ces taches fugitives, objet de tant de recherches ; Saturne et son énigmatique anneau ; Mars et ses canaux

Univ. „Al. I. Cuza" Bibl. de Fizică



FIG. 1. — Projections astronomiques mouvementées.

si contestés. A l'aide d'appareils mécaniques les grandes lois du mouvement sidéral seront démontrées : le système planétaire, le phénomène des marées, la marche des comètes, etc.

Mais, lorsqu'il s'agit d'étudier les phénomènes chimiques ou physiques, la lanterne rend d'inappréciables services; mais ces expériences ne sont pas sans présenter quelques difficultés au point de vue pratique et il est absolument utile de connaître, non seulement les ressources des divers appareils, mais aussi les petits tours de main qui facilitent leur emploi et assurent la réussite.

C'est à l'étude de ces appareils que sera donc consacré ce volume : nous ne chercherons point la démonstration théorique des phénomènes, nous supposerons que le sujet doit être connu du public spécial à qui nous nous adressons, mais nous appuierons de préférence sur la construction et la disposition la meilleure à donner au matériel employé ; nous exposerons surtout les méthodes pratiques pour réussir les expériences; nous nous efforcerons de résumer en règles et en prescriptions bien nettes les observations que les auteurs de ce livre ont faites dans leur longue pratique des appareils de projection.

4. **Préparation de la conférence.** — Mais, avant de nous engager dans le cœur de notre sujet,

qu'il nous soit permis de donner ici quelques conseils sur la manière de préparer une telle conférence. Il est d'une absolue nécessité d'étudier à l'avance les appareils et de ne pas chercher à exécuter ses expériences sans les avoir, au préalable, essayées avec soin et, au besoin même, répétées à plusieurs reprises, de manière à être bien maître, non seulement du maniement de l'appareil, mais des circonstances qui accompagnent le phénomène. Il est de la plus haute importance de savoir exactement quels sont les petits accidents qui peuvent se produire et les moyens pour les éviter : une fausse manœuvre est toujours mal accueillie par le public, qui, sans chercher même à se rendre compte des difficultés vaincues, est trop souvent enclin à critiquer et à sourire d'une expérience manquée.

Le conférencier devra donc essayer avec son opérateur comment le phénomène se projette; il devra noter avec soin le temps que dure l'expérience de manière à régler ses explications en conséquence. Le rôle du préparateur est très complexe, très délicat : il doit avoir rangé avec

soin autour de lui les éléments de la conférence ; au besoin, pour les cas difficiles il aura préparé de quoi répéter une expérience manquée; il devra savoir exactement dans quel ordre les projections se feront, de manière à n'apporter aucune gêne au conférencier; d'autre part, il aura repéré avec soin, s'il est utile, les différentes places que les appareils doivent occuper sur les tables, de manière à les disposer sans hésitation, sans perte de temps. Ce rôle très ingrat demande une grande présence d'esprit, un sang-froid inaltérable.

Une dernière observation: évitez avec le plus grand soin le concours d'aides bénévoles qui ne manqueront pas d'embrouiller vos vues et de déranger vos repères ; ne laissez jamais approcher de vos tables les amis complaisants, dont la bonne volonté vous amènera pour sûr « le pavé de l'ours ».

Sans doute, cette mise en scène, cette sorte de répétition théâtrale paraîtra ridicule à beaucoup; à l'user on en reconnaîtra l'indispensable utilité, et les grandes conférences faites dans nos amphithéâtres ont toujours dû être préparées

de la sorte pour pouvoir se dérouler sans accroc devant l'auditoire.

5. **La science récréative.** — A côté des expériences d'un intérêt spécial, d'une technique particulière, il en est beaucoup qui, par la beauté des projections auxquelles elles donnent lieu, peuvent être rangées dans ce que nous pourrions nommer la *science récréative*. Les charmants spectacles que présentent les cristallisations des sels, les élégantes volutes des mélanges des liquides, les merveilleuses colorations produites par la lumière polarisée peuvent être comprises dans cette classe; il n'est nul besoin d'appuyer de commentaires scientifiques de pareilles images; d'autres phénomènes produisent des effets assez curieux par eux-mêmes ou constituent de petits spectacles d'un intérêt assez grand pour qu'on puisse les mettre dans la même catégorie et nous pensons que les amateurs de projections, qui se font de nos jours de plus en plus nombreux, seront heureux de trouver ici les éléments nécessaires pour varier leurs séances.

6. But et division de l'ouvrage. — Nous avons déjà en partie précisé le but de ce volume, mais il nous paraît utile d'insister sur ce point que nous n'aurons à nous occuper ni du réglage des appareils de lumière, lampe ou chalumeau, ni de leur mode d'emploi : tous ces détails ont été expliqués par nous dans des livres spéciaux[1] et nous supposons que le lecteur est déjà familiarisé avec la pratique des projections.

Cependant il nous a paru utile de décrire les appareils qui servent à exécuter les projections scientifiques, d'étudier les accessoires généraux employés dans la plupart des expériences, renvoyant aux chapitres spéciaux les appareils usités dans les cas particuliers ; cette étude préliminaire achevée, nous examinerons les diverses expériences qui peuvent être faites dans les multiples domaines de la science. Il ne nous sera pas possible de les passer toutes en revue, mais nous décrirons les principales avec assez de

[1] *Instructions pratiques sur l'emploi des appareils de projections.* Molteni, 1892. 4e édition. Edité par l'auteur.
La pratique des projections. H. Fourtier, 2 vol. in-18 jésus, 1892 et 1893. Paris, Gauthier-Villars et fils.

détails pour que l'opérateur soit à même de trouver facilement les moyens pour exécuter les expériences similaires. Nous aurons donc, tour à tour, à nous occuper des phénomènes d'ordre chimique, des lois et des applications de l'optique, de l'électricité, etc.



BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY



CHAPITRE II

LES APPAREILS

SOMMAIRE : Méthodes générales de projection. — Projection par réflexion, par ombres. — Conditions que doit remplir une lanterne de projections scientifiques. — La lanterne Molteni. — Projections horizontales. — Prisme redresseur. — Appareils multiples.

7. **Méthodes générales de projection.** — Les appareils de projection destinés aux expériences scientifiques doivent subir quelques modifications, dont il est utile de faire ressortir les points principaux.

Lorsque l'objet à projeter est de petit volume et transparent, il suffira de monter l'objectif sur un cône très court et assez large de base pour intercepter le faisceau lumineux du côté de l'écran. Cette disposition laissera entre l'objectif et le condensateur un espace suffisant pour placer et manœuvrer les petits appareils ; mais on conçoit que ceux-ci doivent avoir des dimensions

assez faibles pour être entièrement compris dans le cône lumineux ; d'autre part, les objectifs qu'on emploie ordinairement ont peu de profondeur de foyer, il importe donc que les

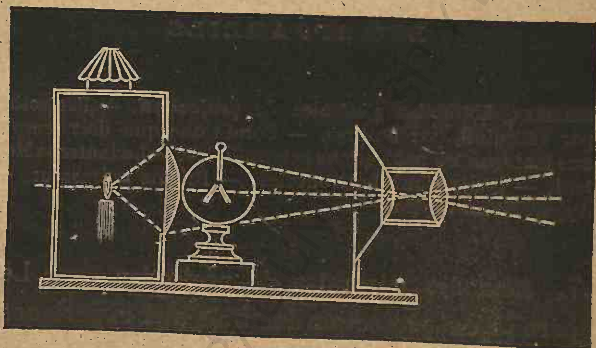


Fig. 2. — Dispositif pour objets transparents.

appareils à projeter aient une faible épaisseur; cependant, si l'objet est opaque et donne, par suite, une projection sous forme d'ombre, on se contentera de mettre au point le plan médian et l'effet sera suffisamment produit : si l'objet est transparent, on mettra au point, sur les plans les plus intéressants, en modifiant sans cesse ce point à l'aide de la crémaillère suivant les explications du conférencier. En agissant ainsi on

opérera comme notre œil, qui accommode continuellement la courbure du cristallin pour adapter la vision aux divers plans du paysage considéré.

Il résulte de ce qui précède que les condensateurs ordinairement employés fournissent, dans nombre de cas, un cône trop court et de diamètre trop petit ; on y remédie facilement en interposant entre le condensateur et l'objet une lentille convergente de plus grand diamètre et de plus long foyer ; la figure 2 donne le schéma du dis-

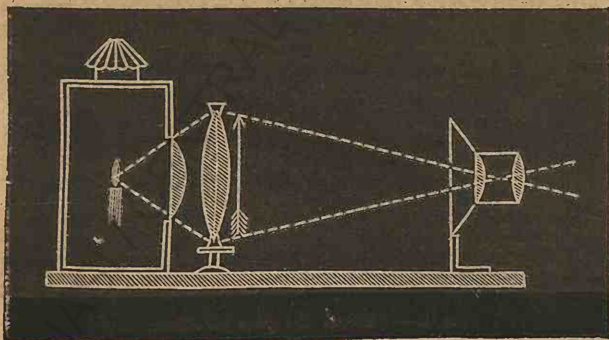


Fig. 3. — Élargissement du cône lumineux.

positif employé. Cela revient, au fond, à employer un plus grand condensateur, celui-ci

devant toujours avoir une surface suffisante pour que l'objet à projeter y soit inscrit.

Dans d'autres circonstances il sera utile d'user d'un faisceau de rayons parallèles ; on interposera, dans ce cas, une lentille biconcave ou plan concave de diamètre convenable et on la disposera dans le cône de lumière issu du condensateur, de manière qu'il l'intercepte complètement ; au sortir de la lentille divergente, le faisceau sera sensiblement cylindrique.

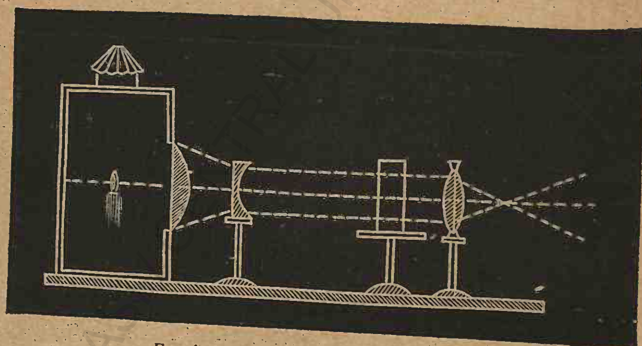


Fig. 4. — Faisceau de rayons parallèles.

En réalité il ne sera pas possible d'avoir un faisceau de rayons absolument parallèles ; il faudrait que la source lumineuse soit réduite à

un point mathématique, mais la solution que nous indiquons suffit amplement dans la pratique ordinaire.

L'objet sera placé sur le trajet du faisceau et celui-ci, après son passage, sera recueilli par une simple lentille convergente qui suffira à fournir sur l'écran l'image voulue.

Ce dispositif est représenté schématiquement par la figure 4 et sera employé, par exemple, comme il est indiqué dans cette figure, pour montrer les fleurs de la glace. (Voir chap. IV.)

8. **Projections par réflexion.** — Lorsqu'on doit projeter certains effets brillants, colorés seulement par suite des effets de réflexion, on concentre sur ces objets la lumière issue du condensateur en la dirigeant obliquement sous un angle de 45°, et, suivant la normale à la face éclairée, on dispose l'objectif ou la lentille objective. Ce dispositif est indiqué schématiquement par la figure 5 ; nous remarquerons que c'est là le principe du *mégascope*.

Dans cette figure nous avons indiqué le dispositif pour la projection des bulles de savon

(voir chap. VI); cette méthode sera employée comme nous aurons l'occasion de le dire en de nombreux cas.

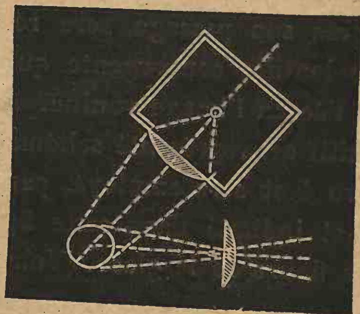


Fig. 5. — Projections par réflexion.

9. **Projections par ombres.** — Il existe encore des circonstances dans lesquelles il est impossible de se servir des moyens ci-dessus indiqués, soit parce que l'appareillage est d'un volume trop considérable, soit parce qu'il ne peut être mis devant le condensateur ; dans ce cas il suffit de placer dans le faisceau lumineux convenablement dirigé par l'objectif l'appareil expérimenté : il se produira sur l'écran une ombre agrandie à bords suffisamment nets pour donner aux spec-

tateurs les notions qu'il importait de leur faire connaître.

10. **Conditions que doit remplir une lanterne scientifique.** — Les principales conditions que doit remplir une lanterne scientifique sont les suivantes : le devant de l'appareil doit être disposé de manière à permettre la substitution rapide des divers objectifs dont on aura à se servir et des appareils qui seront employés à produire la projection soit verticalement, soit horizontalement. D'autre part, il importe que ces différentes pièces soient exactement centrées sur l'axe du faisceau lumineux et puissent se mouvoir suivant cet axe pour assurer la mise au point. Un système répondant à ces conditions est employé depuis longtemps en physique sous le nom de *banc optique :* un ou deux rails servent à conduire les diverses pièces qui sont montées elles-mêmes sur colonne à vis de serrage et pouvant coulisser de manière à s'élever ou s'abaisser suivant le besoin.

Dans les divers appareils scientifiques présentés par les constructeurs, nous trouvons toujours un dispositif de ce genre. Dans les lanternes

allemandes le banc optique est constitué par deux tringles rondes sur lesquelles glissent les appareils; ce mode de construction a été adopté par de nombreux constructeurs. D'autres ont constitué le banc optique par une plate-forme munie de deux rails entre lesquels coulissent les diverses pièces utilisées pour la projection. Il ne nous est pas possible d'entrer dans le détail des multiples modèles établis sur ces données; nous insisterons sur ce point que, avant tout, l'appareil doit se monter avec rapidité, sans gêne pour l'opérateur, sans cause d'arrêt.

11. **La lanterne Molteni.** — Parmi ces différents modèles, il nous sera permis, cependant, de décrire avec détails celui qui a été établi par M. Molteni. Le constructeur a recherché, avant tout, la simplicité dans les agencements et la commodité pour l'opérateur.

Un corps de lanterne en tôle (*fig.* 6), renfermant le foyer lumineux, lampe à pétrole, ou chalumeau oxhydrique, et muni, à la partie antérieure, d'un condensateur, est monté sur une tablette en acajou. Celle-ci est garnie de deux

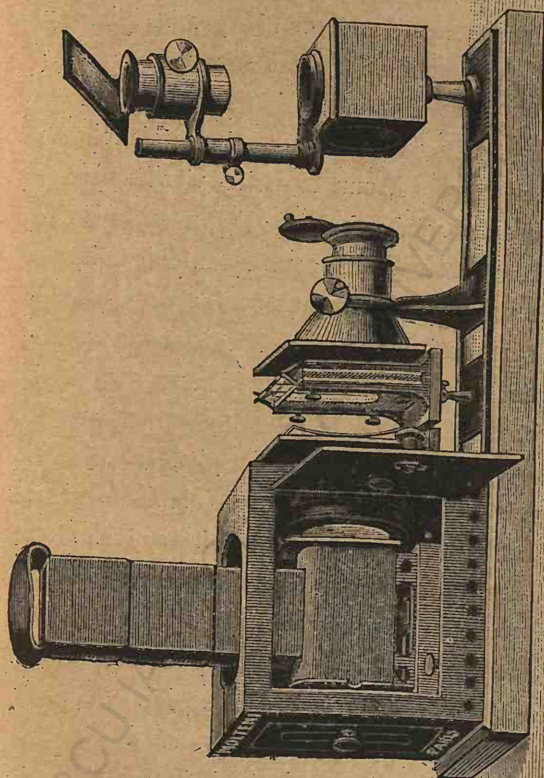


Fig. 6. — La lanterne scientifique et ses divers accessoires.

rails en cuivre, entre lesquels glisseront les divers accessoires et qui guideront ceux-ci dans leurs mouvements suivant l'axe de la lanterne, mouvements nécessités par la mise au point; c'est en réalité un banc optique simplifié.

En avant du condensateur est une planchette verticale à rebord, sur laquelle vient appuyer un ressort arqué : ce dispositif remplace les glissières habituelles et sert à soutenir soit les châssis ordinaires pour passer les vues photographiques, soit les cuves verticales ou les appareils de peu d'épaisseur que nous aurons à décrire.

Une petite tablette, dont le pied est alourdi à dessein pour lui donner plus de stabilité, glisse entre les rails : elle est destinée à supporter les divers accessoires à projeter directement. Dans la figure 6 nous voyons en effet qu'elle supporte une cuve démontable organisée pour la projection de la décomposition de l'eau. (Voir chap. x.)

En avant, se place le support d'objectif, comprenant le cône, destiné à arrêter les rayons non recueillis par l'objectif, et le tube à

crémaillère indépendante, permettant de changer rapidement l'objectif suivant le grossissement désiré.

12. Projections horizontales. — L'appareil, tel que nous venons de le décrire, ne peut servir

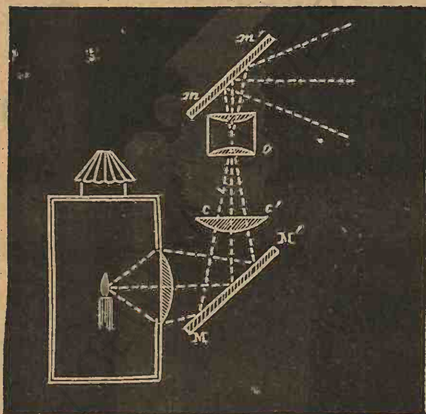


Fig. 7. — Schéma de l'appareil à réflexion totale.

que pour la projection de tableaux ou d'accessoires verticaux; or nombre de phénomènes ne peuvent se passer que suivant un plan horizontal : on a donc été appelé à créer un disposi-

tif particulier, dû, croyons-nous, à Soleil ; la figure 7 indique schématiquement la marche des rayons lumineux dans ce dispositif.

Le faisceau lumineux, issu de la lanterne, rencontre un miroir incliné à 45°, MM′, sur lequel il se réfléchit verticalement à angle droit;

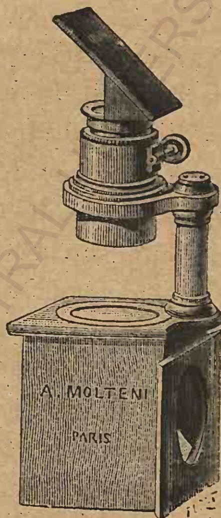


Fig. 8. — Appareil à réflexion totale.

il est recueilli par un condensateur, *cc′*, sur lequel se placent les objets à projeter. Un objectif vertical *o* recueille le faisceau qui, à sa

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

sortie, se réfléchit de nouveau sur un second miroir, *mm'*, placé symétriquement par rapport au premier, et le rayon est dès lors dirigé horizontalement sur l'écran. Cette suite de réflexions a fait donner à ce dispositif le nom d'appareil ou de support à réflexion totale. Dans la figure 8 est représenté le modèle construit par M. Molteni pour les lanternes électriques, et, à l'avant de l'appareil de la figure 6, le modèle qui sert avec la lanterne à bec oxhydrique ou à pétrole.

Pour employer ce dernier on retire la tablette et le cône porte-objectif, on dévisse la lentille d'avant du condensateur et on la revisse au-dessus du miroir incliné contenu dans la boîte d'acajou, on remet le condensateur à sa place, on pousse l'appareil jusqu'au contact de la glissière et on visse l'objectif sur l'anneau supérieur, et enfin on coiffe la bonnette avec la glace inclinée. On règle *grosso modo* l'objectif en mettant sur le condensateur une vue et en faisant glisser la monture de l'objectif sur la colonne verticale, on serre la vis de pression lorsque le point est à peu près assuré, on le termine exactement à l'aide de la crémaillère.

Par suite de cette série de réflexions, il y a une certaine perte de lumière ; aussi convient-il de ne pas chercher à obtenir des grossissements trop considérables ; notons, cependant, qu'on diminue cette perte de lumière en employant un prisme à réflexion totale, au lieu de la glace supérieure.

13. **Prisme redresseur.** — Lorsqu'on projette les objets placés verticalement, on sait que

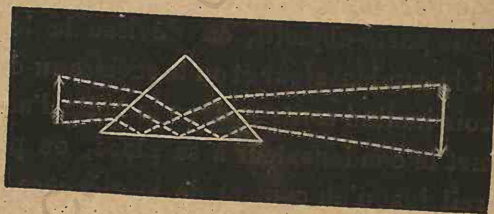


Fig. 9. — Marche des rayons dans le prisme redresseur.

l'image sur l'écran est renversée. Dans la plupart des cas, cet effet a peu d'importance, cependant il est souvent utile que l'image projetée soit dans son vrai sens. On y parvient en interposant sur le faisceau lumineux, à sa sortie de l'objectif, un prisme isocèle rectangle ; la figure 9

montre la marche des rayons dans l'intérieur du prisme : on voit qu'après avoir subi une double réflexion l'image sort renversée, c'est-à-dire redressée dans le cas qui nous occupe [1].

Le prisme redresseur est disposé de manière que l'hypothénuse soit parallèle à l'axe du rayon, soit comme nous le montre le dispositif anglais représenté par la figure 10, soit qu'on l'enchâsse dans une monture spéciale qui se fixe sur la bonnette de l'objectif, comme on le fait communément en France.

14. **Appareils multiples.** — Dans une conférence, un cours quelconque, on n'aura pas à faire seulement des projections d'expériences : le plus souvent ces démonstrations sont entremêlées de projections ordinaires ou de projections microscopiques qui exigent des appareils spéciaux, comme nous le verrons au chapitre XII. Pour simplifier les opérations on a préconisé l'emploi d'appareils à têtes multiples dans lesquels il suffit

[1] Ce redressement de l'image par un prisme a été indiqué, pour la première fois, en 1812, par Soleil qui s'en servait dans une petite chambre obscure qu'il appelait le pronopiographe.

d'amener, par rotation, ou tout autre moyen semblable, la tête qu'on a à utiliser devant le

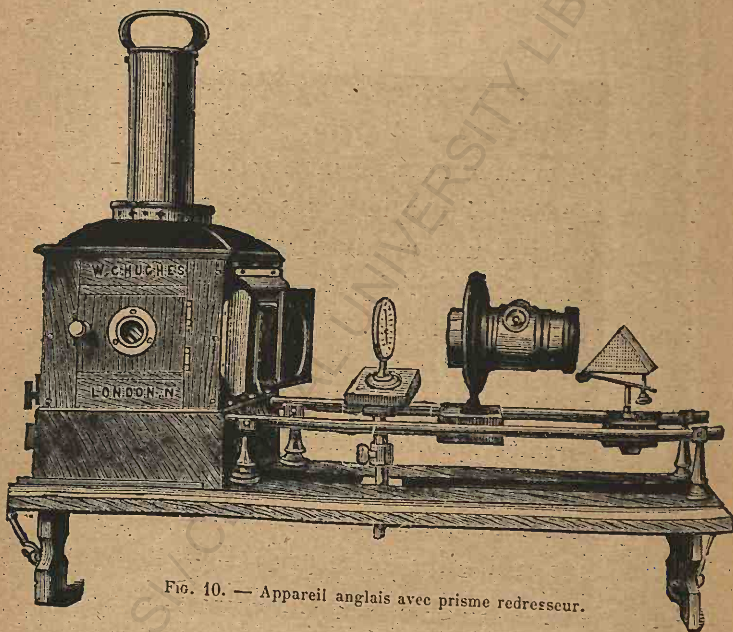


Fig. 10. — Appareil anglais avec prisme redresseur.

condensateur. Nous croyons qu'il est de meilleure pratique d'employer des lanternes distinctes à foyers séparés; en tous cas nous ferons observer que la lanterne scientifique décrite plus haut permet de passer très rapidement d'un

genre de projections à l'autre par une très simple manœuvre qui consiste à rapprocher l'objectif ou à lui substituer telle autre tête convenable.

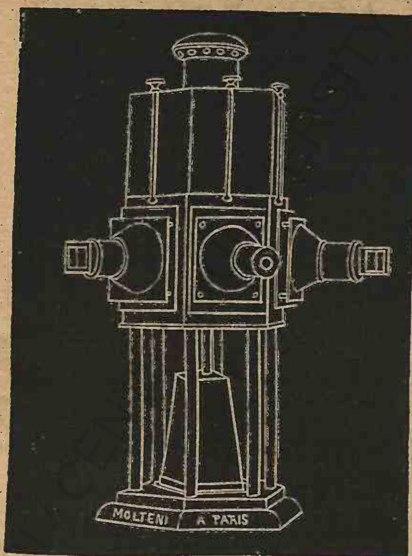


Fig. 11. — Appareil multiple.

Lorsqu'on emploie la lumière électrique on peut disposer trois têtes l'une à côté de l'autre, sur les faces avant d'un demi-hexagone, comme l'a fait M. Molteni dans l'appareil ci-dessus (*fig.* 11).

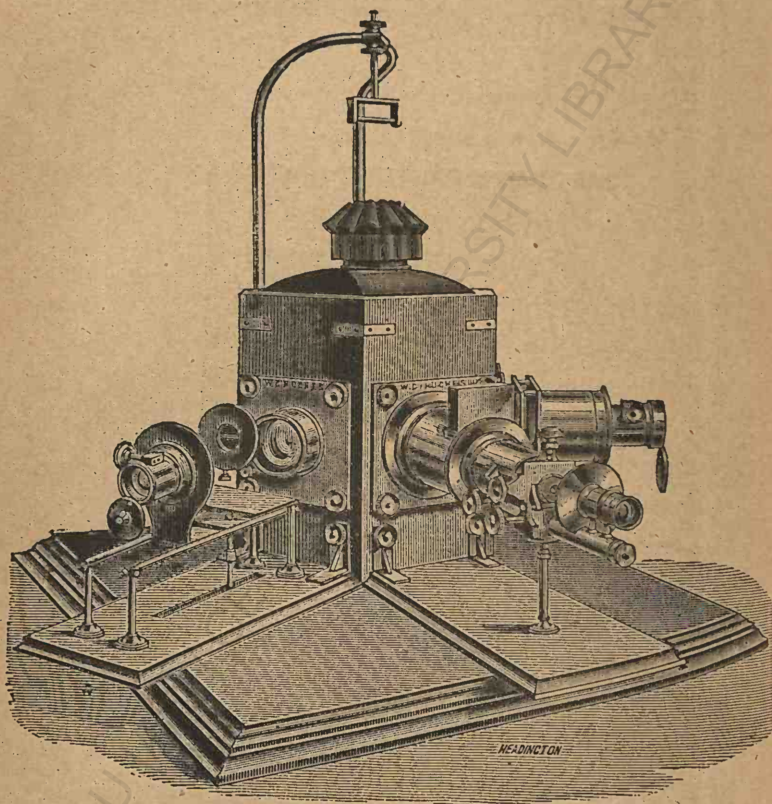


Fig. 12. — Lanterne scientifique à trois têtes.

Dans ce cas les têtes latérales sont munies de prismes destinés à centrer les trois disques l'un sur l'autre.

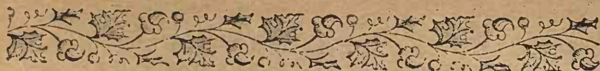
Certains constructeurs étrangers ont même, pour des établissements scientifiques, construit des lanternes permettant de passer très rapidement d'un genre de projection à un autre, en ayant devant chaque tête l'expérience prête à l'avance. Telle est, par exemple, cette lanterne de Hughes, qui ne comporte qu'un seul foyer de lumière, mais trois têtes spéciales sont montées sur les trois faces d'un demi-hexagone et peuvent, l'une après l'autre, être amenées par rotation devant le condensateur. La tête de droite sert à la projection des tableaux transparents, la tête du milieu est un microscope composé, la tête de gauche un banc d'optique pour les projections scientifiques ordinaires.

On conçoit qu'avec un tel dispositif il est possible de préparer à l'avance tel ou tel genre de projection ou telle expérience pendant que l'une des têtes projette le sujet réclamé par le conférencier; très rapidement il sera facile de passer à l'expérience suivante en faisant

tourner l'appareil. Mais c'est là un appareil qui conviendra surtout aux grands centres d'enseignement et, la plupart du temps, il sera inutile d'avoir recours à un dispositif aussi compliqué.



BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY



CHAPITRE III

LES ACCESSOIRES

SOMMAIRE : Diversité des accessoires. — Les cuves à réactions. — Cuves verticales. — La cuve démontable. — Tubes d'essais. — Entonnoirs et pipettes. — Cuves horizontales. — Vidage et nettoyage des cuves.

15. **Diversité des accessoires.** — Les accessoires pour produire les projections scientifiques sont très nombreux : les uns répondent à un but spécial bien défini, nous les décrirons en leur lieu et place ; d'autres, au contraire, sont d'un usage fréquent et peuvent servir dans de nombreux cas de la pratique, aussi leur consacrerons-nous dans ce chapitre une étude spéciale.

16. **Les cuves à réactions.** — Les réactions chimiques et nombre de phénomènes physiques exigent l'emploi de cuvettes à parois de verre. Les unes, peu épaisses, sont verticales et destinées à être projetées directement ; les autres

horizontales, de la forme ordinaire et à fond transparent sont employées avec le support à réflexion totale et servent aux expériences se passant dans un plan horizontal. Nous étudierons ces deux genres de cuvettes et leurs accessoires.

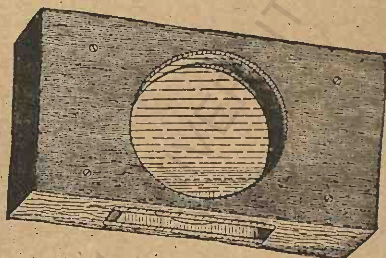


Fig. 13. — Cuve verticale montée sur bois.

17. **Cuves verticales.** — Il existe de nombreux modèles de cuves verticales : le plus simple se compose de deux lames de verre enchâssées dans une monture de bois (*fig.* 13) ayant les dimensions des châssis passe-vues simples ; ces cuves peuvent donc être employées dans toute lanterne de projection, et, en particulier, dans l'appareil Molteni, elles sont maintenues devant le condensateur à l'aide du ressort arqué. Grâce à ce dispositif et à l'espace existant entre elles

et le cône porte-objectif l'opérateur peut facilement manœuvrer les divers accessoires dont il aura à faire usage, pipettes à réactifs, etc. La diffusion de la lumière, autour de la cuve, lui permettra de suivre aisément les opérations.



Fig. 14. — Petite cuve en glace.

D'autres cuves sont entièrement construites en glace pour éviter les corrosions que pourraient produire certaines substances chimiques, acides ou autres. Elles sont composées de deux lames de verre séparées par des bandes de cristal épais ; le tout est collé à la glu marine ; si on doit se servir de solutions alcooliques ou d'essences, la glu marine, attaquée par ces liquides, sera remplacée par le ciment des opticiens ou de la colle de poisson dissoute dans l'acide acétique.

18. **Les cuves démontables.** — Le nettoyage parfait de pareilles cuves est assez délicat : aussi

M. Molteni a-t-il cherché à établir un modèle facilement démontable, permettant de procéder avec rapidité à un nettoyage à fond, lorsqu'il y a lieu d'exécuter des réactions très sensibles. La manipulation est rendue ainsi plus facile.

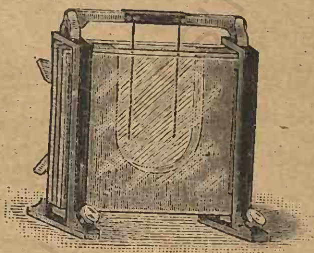


Fig. 15. — La cuve démontable Molteni.

Elle se compose de deux glaces maintenues écartées par une bande de caoutchouc épais, taillé en forme d'U ; le tout est serré entre deux coulants en métal qui forment le pied de l'appareil. Ces coulants portent à leur base inférieure des bornes de prise de courant, et, à la partie supérieure, des pinces entre lesquelles on insère les divers accessoires utiles. La figure 15 montre le dispositif employé pour l'électrolyse de l'eau. Grâce à ces diverses dis-

positions, le nettoyage de la cuve est très facile, ainsi que le changement des lames de glace ; de plus, il est possible d'exécuter les diverses expériences d'électricité que nous aurons à décrire plus tard.

De notre côté, sans connaître alors le procédé de M. Molteni, nous avions établi un modèle de cuve démontable, que nous avons appelée la *cuve laboratoire* et qui est basée sur les mêmes principes.

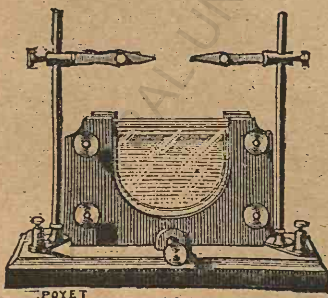


Fig. 16. — Cuve laboratoire.

Deux lames de verres séparées par une lame épaisse de caoutchouc, taillées en U, sont serrées par des vis de pression entre deux platines de cuivre : cette cuve se dispose sur un socle

d'acajou portant deux colonnes de cuivre, munies de pinces de formes diverses et pouvant, grâce à des bornes placées à leurs pieds, être mises en communication avec les pôles d'une pile, ce qui permet d'exécuter facilement les réactions chimiques et électriques voulues.

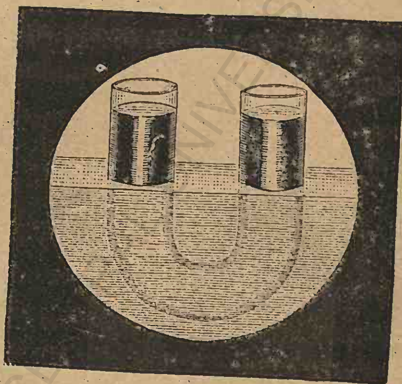


Fig. 17. — Effets de pénombre dans les tubes.

19. **Tubes d'essai.** — On a souvent besoin d'avoir recours à des tubes d'essai, soit le tube ordinaire bouché à une de ses extrémités, soit des tubes en U employés pour la démonstration de certains phénomènes. Si on projette directement de tels appareils, il se forme latéralement

des pénombres qui masquent en grande partie les réactions observées.

Mais on leur rend toute leur transparence en les mettant dans la cuve remplie d'eau pure. La figure 17 nous montre l'aspect pris en projection par les tubes ; dans la partie supérieure hors de l'eau, on voit les effets de pénombre, qui sont complètement détruits par la dispersion dans l'eau.

20. **Entonnoirs et pipettes.** — Pour remplir les cuves verticales, il est bon de se servir d'entonnoir à douille allongée qu'on fait pénétrer jus-



Fig. 18. — Entonnoir à douille allongée.

qu'au fond de la cuve. Le liquide versé dans l'entonnoir monte lentement le long des parois de verre et on évite ainsi la formation des bulles d'air, qui s'accrochent aux parois de verre et produisent dans la projection des multitudes de petits points noirs d'un très désagréable effet.

On verse les réactifs à l'aide de pipettes qui se composent d'un tube de verre portant un renflement et terminées, à une extrémité, par une petite ampoule de caoutchouc et, à l'autre, par une pointe effilée. Pour remplir la pipette on presse sur l'ampoule en la pinçant entre deux doigts, puis on introduit la pointe dans le liquide et on desserre doucement les doigts. L'ampoule, par suite de son élasticité, reprend sa forme première en aspirant le liquide. On fait sortir ce



Fig. 19. — Pipette à réactifs.

dernier, goutte à goutte, en pressant très légèrement sur l'ampoule. Lorsque le réactif de la pipette donne un précipité avec le liquide remplissant la cuve, il faut éviter avec soin de faire pénétrer la pointe effilée dans ce liquide, sinon l'ouverture se boucherait immédiatement par la formation du précipité. Il vaut mieux faire tomber une goutte de réactif à peu de distance de la surface du liquide ou, appuyant le bout effilé contre une des glaces, faire couler un mince

filet de réactif le long de cette glace : celui-ci, arrivant sans vitesse, se répandra à la surface du liquide dont la cuve est remplie, et les réactions se produiront en donnant lieu à de très curieux spectacles. (Voir chap. XI.)

On trouve, dans le commerce, des pipettes très convenables sous le nom de *compte-gouttes ;* au besoin on les construit facilement en étirant un bout de tube de verre, dont on garnit l'autre extrémité d'un bout de biberon en caoutchouc non percé. Dans nombre de cas même, on se servira d'un tube effilé dont l'autre extrémité aura été légèrement chauffée dans la flamme d'une lampe d'alcool pour fondre l'arête coupante du tube. Pour remplir cette pipette on la plonge dans le liquide, en laissant l'ouverture supérieure ouverte : lorsque le niveau s'est établi également de part et d'autre du tube, on le saisit entre le pouce et le médius et on appuie fortement l'index sur l'ouverture supérieure ; on peut alors retirer la pipette, et, tant que l'ouverture sera ainsi bouchée, le liquide ne pourra s'écouler ; en soulevant légèrement l'index par petites secousses, on fera tomber goutte à

goutte le liquide. Ce genre de pipette est surtout fort utile lorsqu'on veut user d'une quantité déterminée d'un liquide : il suffit alors de graduer le tube à l'aide de quelques traits de diamant et on le remplit en l'enfonçant dans le réactif jusqu'au trait voulu.

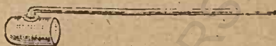


Fig. 20. — Cuiller à réaction.

On se sert aussi de *cuillers à réactions*, composées d'un petit tube d'essai très court auquel est soudé un manche de verre (*fig.* 20).

Le matériel sera complété par quelques tubes de verre de diverses grosseurs et des baguettes pleines employées comme agitateurs.

21. **Cuves horizontales.** — Les cuves horizontales, ou cuvettes proprement dites, se composent d'un cadre de bois ou de métal muni d'un fond de verre ; elles affectent une forme ronde ou carrée.

Il est très facile de fabriquer les cuvettes en bois carrées : on établit un cadre de 3 à 4 centi-

mètres de haut et de dimensions suffisantes pour circonscrire le condensateur ; sur la tranche inférieure du cadre, on a ménagé une feuillure pour loger la glace de fond ; on rend la cuve imperméable en couvrant le bois d'un vernis à la gomme-laque ou au bitume et en cimentant les bords du verre avec de la glu marine ou un ciment composé de litharge finement pulvérisée et de glycérine.

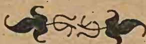
Dans certaines expériences on emploie comme cuve une coupelle de verre en forme de calotte sphérique qu'on met à la place du condensateur dont elle joue le rôle, lorsqu'elle a été remplie d'eau ; les objets surnageant sont très facilement mis au point et il y a ainsi une moins grande déperdition de lumière.

22. **Vidage et nettoyage des cuves.** — Pour vider rapidement les cuves verticales, le moyen le plus commode et le plus pratique à la fois consiste à se servir d'une grosse poire en caoutchouc, telle que celle dont on se sert couramment pour les obturateurs photographiques. On munit l'extrémité du tube de caoutchouc d'un tube de

verre d'une longueur un peu supérieure à la profondeur de la cuve. Pressant, d'une main, sur la poire pour en faire sortir l'air, on introduit, de l'autre main, le tube de verre dans la cuve de manière à le faire pénétrer jusqu'au fond et on desserre peu à peu la main qui presse sur la poire ; celle-ci, d'autre part, doit être tenue beaucoup plus bas que le fond de la cuve, elle forme alors syphon : la cuve se trouve ainsi vidée régulièrement et très vite.

S'il y a lieu de nettoyer la cuve, le même appareil sera rempli d'eau pure et, par des pressions alternées, on remplira et on videra la cuve à plusieurs reprises, ce qui suffira, le plus souvent, pour enlever les résidus des réactifs déjà employés.

Les cuves horizontales seront munies d'un petit tube latéral de caoutchouc maintenu fermé à l'aide d'une pince de Mohr, de beaucoup préférable aux robinets, de quelque matière qu'ils soient, car ils s'oxydent assez facilement et se collent de manière à gêner leur manœuvre.





CHAPITRE IV

LA CHIMIE EN PROJECTION

SOMMAIRE : Avantages des projections. — Méthodes générales. — I. Réactions colorées. — Teinture de tournesol — Autres réactifs de coloration. — Les couleurs d'aniline. — Réactions colorées. — II. Précipités. — Généralités. — III. Cristallisations. — Principales cristallisations. — IV. Expériences diverses. — V. La photographie en projection. — VI. Les fleurs de glace.

23. **Avantages des projections.** — L'étude des corps, de leurs propriétés, de leurs combinaisons entre eux, peut fournir avec la lanterne de projections de très intéressants spectacles. Autrefois le professeur devait se borner à quelques expériences, faites en petit, dans des tubes ou des verres à expériences, et les premiers rangs seulement de l'auditoire pouvaient entrevoir ces réactions. A l'heure actuelle il suffit de quelques gouttes de réactifs, mises en présence dans une petite cuve de verre, pour que tout un auditoire, quelque nombreux qu'il soit, puisse être mis au

courant des opérations ; bien plus, par suite du grossissement obtenu, toutes les phases du phénomène sont mises en évidence dans leurs plus intimes conséquences : certains d'entre eux même, dans lesquels des forces infiniment petites sont mises en jeu, décuplées par l'objectif, sont facilement perçus par tous.

Les expériences du domaine de la chimie peuvent se varier à l'infini, nous nous bornerons à signaler les principales et nous donnerons assez d'exemples pour fixer le lecteur sur la manière de procéder.

24. **Méthodes générales.** — Les expériences de chimie qu'on peut exécuter dans la lanterne se font d'ordinaire par la voie humide, c'est-à-dire en faisant réagir l'une sur l'autre des solutions des sels étudiés. Les expériences s'exécutent dans les cuves de projections décrites dans le chapitre précédent et donnent lieu les unes à des changements de colorations, les autres à des précipités dont les couleurs et les formes diverses serviront à identifier les corps mis en présence.

Ces réactions étant très souvent d'une excessive sensibilité, une trace d'un autre réactif pouvant modifier les résultats, il importe de se servir de cuves parfaitement propres, et pratiquement le meilleur procédé consiste à avoir un certain nombre de cuves préparées à l'avance et qu'on substitue les unes aux autres au fur et à mesure des besoins. Il est, en effet, difficile d'exécuter un rapide et exact nettoyage, dans la demi-obscurité au milieu de laquelle se font les projections.

Les réactifs qui devront être mis en présence seront très dilués, sinon les réactions trop colorées se projetteraient en noir, par suite de leur opacité. Nous avons déjà dit comment on remplissait la cuve pour éviter la formation des bulles d'air et de quelles façons diverses on pouvait ajouter le second réactif, lorsque celui-ci est liquide.

On peut aussi, dans certains cas, employer le réactif sous forme solide, soit en saupoudrant la surface du bain avec ce réactif en poudre fine, soit en déposant dans la cuve un gros cristal qui gagnera le fond en s'entourant de curieuses

ramifications fournies par le nouveau composé.

Nous donnerons ici, à titre d'exemples, quelques-unes des principales expériences qui peuvent être exécutées.

I. — Réactions colorées

25. **Teinture de tournesol.** — La teinture de tournesol est une matière colorante, extraite de certains lichens, qui fournit, en solution dans l'eau, un liquide d'un bleu violacé jouissant de a propriété de rougir en présence des acides et de revenir au bleu avec les alcalis.

Il est à noter que la teinte rouge prend des nuances différentes suivant l'acide employé : on le démontre en remplissant la cuve de tournesol bleu et en faisant tomber en divers points de la surface des gouttes de différents acides ; ceux-ci, en pénétrant dans le liquide, font naître des traînées rougeâtres et il est facile de constater qu'à chacun des acides employés correspond une nuance spéciale.

En remuant avec un agitateur le liquide, il prend une coloration rose uniforme : en ajoutant

alors quelques gouttes d'ammoniaque, on produit des traînées bleuâtres au sein du liquide rose, et, en agitant, tout le liquide vire au bleu.

26. **Autres réactifs de coloration.** — D'autres réactifs possèdent la même propriété de changer de couleur suivant la nature des sels. Le sirop de violettes est rougi par les acides et verdi par les alcalis; la teinture jaune de curcuma prend une teinte rouge avec les alcalis. Une décoction de bois de Brésil d'un beau pourpre carminé vire au jaune avec les acides étendus, est décolorée par l'hydrogène sulfuré et l'hyposulfite de soude, se violace en présence des alcalis énergiques, précipite en noir bleuâtre avec les sels de fer, etc. Ces phénomènes de colorations successives sont assez nombreux, nous avons rappelé ici les principaux.

27. **Les couleurs d'aniline.** — Les couleurs d'aniline, si employées à l'heure actuelle par l'industrie, sont décolorées par les alcalis et régénérées par les acides, plus particulièrement les acides organiques. Ayant rempli la cuve d'une solution

légère de fuchsine, on y verse un peu d'ammoniaque qui détermine sur l'écran des veinules blanches sur le fond rouge du liquide, on agite avec une baguette de verre et la couleur disparaît totalement ; qu'on ajoute alors une solution d'acide citrique et la coloration reparaît peu à peu. L'expérience peut se refaire à plusieurs reprises à la condition de n'employer chaque fois que la quantité strictement nécessaire du réactif pour obtenir l'effet cherché.

28. **Réactions colorées.** — A côté de ces réactifs qui changent de coloration, il est d'autres réactions colorées par la formation d'un nouveau produit soluble, dont la teinte est absolument distincte de celle des composants. Comme ces colorations sont parfois intenses, il est nécessaire d'employer des solutions très étendues. Signalons les principales ; nous donnons, entre parenthèse, la couleur du réactif et les quantités utiles de sel pour 100 parties d'eau :

1° Solution de peroxyde de fer à 1 0/0 (vert très clair) et solution de cyanure rouge de potassium à 1 0/0 (jaune pâle), formation de bleu de prusse ;

2° Sulfate de cuivre à 1 0/0 (bleu pâle), cyanure jaune de potassium à 0,5 0/0, coloration rouge cuivre ;

3° Solution de chlorure de cuivre à 2 0/0 (vert pâle) et ammoniaque, précipité verdâtre par réflexion, noir en projection : il se dissout dans un excès d'ammoniaque en produisant un magnifique bleu (bleu céleste).

Les réactions de même nature sont très nombreuses et le lecteur en trouvera de multiples exemples dans les traités de chimie. Nous insisterons sur ce point que les solutions doivent être très étendues pour que les couleurs ne soient pas masquées en projection par leur trop grande opacité. Le permanganate de potasse ou caméléon minéral, l'iodure d'amidon, l'alun violet de chrome, etc., donnent lieu à des transformations colorées avec des réactifs convenables.

II. — Précipités

29. **Généralités.** — Lorsque deux sels solubles mis en présence donnent par double décomposition un sel insoluble, celui-ci se produit en affec-

tant des formes caractéristiques très curieuses à étudier. Le nouveau composé insoluble se nomme *précipité*.

Les précipités sont en général blancs et opaques; ils se projettent donc en noir, mais ils sont nettement diversifiés par leur manière de se produire, leur contexture et la rapidité de leur précipitation.

On les obtient de deux façons principales :

1° En mettant un cristal du réactif dans une solution saline;

2° En mêlant deux solutions salines.

30. **Réactions principales.** — Nous citerons ici quelques-unes de ces réactions :

1° Dans une solution de sulfate de zinc, on ajoute quelques gouttes d'ammoniaque : on observe un précipité cailleboteux gris bleuâtre tombant avec lenteur. Si la solution du sel de zinc est concentrée et qu'on envoie avec force, à l'aide d'une pipette effilée, une goutte d'ammoniaque, le précipité se forme sur le passage du réactif en de très curieuses volutes;

2° Dans une solution très étendue d'azotate

d'argent on verse quelques gouttes d'une solution de sel marin, il se forme un précipité en neige se projetant en noir ; si on ajoute une solution d'hyposulfite de soude le précipité se dissout. Ce sont là les réactions premières de la photographie ;

3° A la surface d'une solution étendue d'azotate de plomb on répand un peu de sel ammoniaque en poudre ; il se forme un précipité opaque, qui tombe en fine poussière. Inversement si, dans le même liquide[1], on laisse tomber un gros cristal de sel ammoniaque, on verra sortir de ce cristal de curieuses arborisations ;

4° La cuve étant remplie de sulfate de potasse, on dépose à sa surface un peu de chlorure de baryum en menus cristaux ou, mieux, un fragment de papier buvard imprégné de ce sel ; il se produit un précipité tombant en filets droits à cause de sa pesanteur, on a produit en effet le minéral connu sous le nom de *spath pesant*.

Ces réactions sont très nombreuses, nous rappellerons, pour terminer, que l'oxalate de

[1] La réaction réussit surtout quand on emploie un liquide chargé, soit 4 parties d'eau pour 1 de sel.

potasse sert à démontrer que l'eau ordinaire contient beaucoup de chaux ; l'iodure de potassium décèle de minimes quantités de plomb ; l'azotate d'argent de faibles traces de chlore, etc.

31. **Variante.** — On peut présenter ces expériences sous de multiples formes et nous citerons entre autres la suivante qui constitue une très élégante méthode de projection. On fait une boulette de cire à la surface de laquelle on incruste de menus cristaux de sels divers : sels de fer, cobalt, cuivre, etc. On dépose cette petite boule dans une cuve contenant une solution de prussiate jaune, ou de tout autre réactif convenable, épaissie légèrement avec de la gomme ; on verra naître aussitôt de la cire de curieuses arborisations aux multiples couleurs et aux aspects changeant à l'infini.

III. — Cristallisations

32. **Généralités.** — Une des formes les plus intéressantes des expériences de chimie dans la lanterne nous est fournie par la cristallisation

des sels. La méthode générale pour réussir cette expérience est la suivante : on doit préparer au préalable une solution concentrée du sel à faire cristalliser et l'employer chaude, de manière à assurer la prompte évaporation du dissolvant. Celui-ci est généralement l'eau pure, mais on fait varier les formes cristallines ou, tout au moins, on empêche la cristallisation trop prompte en se servant de liquides épaissis par la gomme ; la bière, en particulier, réussit très bien. Sur une glace bien propre, qu'on lave au dernier moment avec un peu de la solution du sel, étendue avec un linge fin, on répand la solution à la manière du collodion ; on égoutte et on place dans un châssis porte-vue.

Sous l'influence de la chaleur du foyer lumineux le dissolvant ne tarde pas à s'évaporer : au début, l'écran paraît blanc ; peu à peu, en quelques points, on voit se former de petits cristaux qui ne tardent pas à s'accroître et à s'allonger dans toutes les directions, recouvrant la glace d'un élégant lacis aux formes régulières et géométriques : celles-ci appartiennent toujours à un même système pour un même sel.

Les formes premières cependant se modifient sans cesse sous l'influence de la chaleur qui leur fait perdre leur eau de constitution et par suite de phénomènes de surfusion.



Fig. 21. — Formes cristallines diverses.

On modifie encore l'aspect des cristaux en décentrant le foyer lumineux surtout en hauteur, les cristaux prennent de nouvelles colorations et les jeux de lumière produisent les plus capricieux changements. Ajoutons que ces expériences faites avec la lumière polarisée donnent de merveilleuses projections. (Voir plus loin.)

33. Principales cristallisations. — Nous noterons ici quelques-unes des solutions qui produisent les plus belles cristallisations ; nous indiquerons la quantité nécessaire de sel pour 100 centimètres cubes de dissolvant et la forme cristalline généralement obtenue.

NOM DU SEL	PROPORTION 0/0 D'EAU	FORME CRISTALLINE	OBSERVATIONS
Chlorhydrate d'ammoniaque	40	Cristaux en épée	Si on se sert de bière comme dissolvant, les cristallisations se produisent en forme de plumules.
Sulfate de zinc............	150	Aiguilles prismatiques en étoiles	
Chlorure de cuivre.........	60	Etoiles bleuâtres	Se forme souvent en masses aiguillées dessinant de grands losanges teintés de bleu.
Acétate de soude..........	30	Aiguilles fines	Se présente souvent en forme de feuilles de fougère.
Acide oxalique.............	14	Prismes allongés	
Bichromate de potasse....	9	Tables et prismes hexagonaux orangés	La solution doit être additionnée de gomme, ou mieux de glycérine pour empêcher la formation de trop petits cristaux.
Chlorure de sodium.......	25	Petits cristaux cubiques	
Azotate de potasse........	20	Longues aiguilles	
Carbonate de potasse.....	50	Cristaux feutrés	
Sucre blanc...............	60	Prismes allongés	Les cristaux sont plus beaux si on a additionné la solution d'un peu de miel.

Les dissolutions de sels doubles, par exemple carbonate double de potasse et de soude, alun, etc., donnent toujours des cristaux plus volumineux que les dissolutions de sels simples.

Les cristallisations de sels dans l'alcool et, plus particulièrement, des couleurs d'aniline donnent de fort belles projections ; mais, comme l'alcool s'évapore assez vite, il est utile de peu teinter la solution.

34. **Variantes.** — On donne à cette expérience de nombreuses variantes : on collodionne la plaque avec une solution limpide de gomme additionnée d'un peu de glycérine et on y dépose quelques gouttes de solutions salines diverses, on obtiendra ainsi des floraisons très curieuses.

Si on a dessiné à l'avance sur la glace une lettre ou un chiffre à l'aide d'une petite estompe très légèrement grasse de manière à faire une marque à peine perceptible, quand la cristallisation s'opérera, le chiffre sera indiqué par des cristaux plus petits et les ramifications salines laisseront les lettres intactes ; on réussit mieux

cette expérience avec le support horizontal et on doit employer une solution un peu épaisse et abondante.

IV. — Expériences diverses

La liste des expériences de chimie est des plus étendues et il ne nous est guère possible de les énumérer toutes ; nous citerons cependant les suivantes à titre de renseignement.

35. **Les fumées de l'acide chlorhydrique.** — Qu'on dépose au fond de la cuve un peu d'acide chlorhydrique et qu'on tienne dans la partie haute de la cuve un morceau de papier buvard imprégné d'ammoniaque, on verra aussitôt la cuve s'emplir d'abondantes fumées aux capricieuses volutes : il s'est en effet formé du chlorhydrate d'ammoniaque solide. Notons, en dehors de sa portée scientifique, que c'est là le moyen employé habituellement par les prestidigitateurs pour faire passer la fumée d'un cigare dans un verre.

36. **Acide hypoazotique.** — On dépose dans la cuve quelques gouttes d'acide azotique et on y plonge un peu de limaille de fonte ; si on touche cette limaille avec l'extrémité d'un fil de cuivre, il se dégage aussitôt des fumées lourdes et rougeâtres d'acide hypoazotique.

37. **Acide carbonique.** — Mettre dans la cuve quelques cristaux de carbonate de soude et verser par dessus une solution concentrée de sulfate neutre de soude, faire tomber une goutte d'acide sulfurique : on verra aussitôt se dégager l'acide carbonique en bulles tumultueuses.

38. **Amalgame d'ammonium.** — Remplir la cuve d'une solution de chlorhydrate d'ammoniaque et y plonger la cuillère contenant un petit morceau d'amalgame de sodium : on verra celui-ci gonfler peu à peu au milieu d'un abondant afflux de gaz ammoniac.

Des expériences similaires se trouvent dans les cours de chimie et seront effectuées aisément d'après les mêmes principes.

V. — La photographie en projection

39. **Généralités.** — La démonstration des principales opérations photographiques donne lieu à de très intéressants spectacles. A l'aide de la cuve verticale on a montré la formation du chlorure ou du bromure d'argent insolubles par l'action réciproque du sel marin ou d'un bromure alcalin sur le nitrate d'argent ; on a fait voir aussi que l'hyposulfite, le cyanure de potassium étaient des dissolvants de ces sels d'argent. Il sera, de plus, très facile de faire assister l'auditoire à la mystérieuse opération du développement de l'image latente.

40. **L'image latente.** — On se servira, dans ce but, du support à réflexion totale : sur le condensateur on place une cuvette à fond de verre, bien propre, dans laquelle on dépose un cliché ordinaire pour faire la mise au point préalable.

Une glace au gélatino-chlorure (plaque Ilford Alpha) est mise en châssis au contact d'un négatif et exposée directement au foyer lumi-

neux (dix à quinze secondes d'exposition pour la lumière oxhydrique, au moins vingt à trente à la lumière du pétrole)[1]. Pour empêcher l'action de la lumière sur le cliché au cours du développement, on interpose devant le condensateur un verre jaune, qui ne laissera passer que des rayons inactiniques ; la glace est mise dans la cuvette, en ayant soin de repérer le côté du ciel, qui doit être placé du côté opposé au condensateur, de manière que la photographie ne soit point inversée sur l'écran. On verse alors le développement à l'hydroquinone indiqué pour les plaques Alpha : ce bain est très transparent et doit être filtré avec soin sur laine de verre[2].

Le cliché se développe peu à peu sous les yeux des spectateurs ; dès qu'il a acquis l'intensité voulue, on enlève le révélateur à l'aide d'une pipette à pomme de caoutchouc ou en desserrant la pince de Mohr qui tenait le tube de caoutchouc fermé et on verse une solution

[1] L'exposition à la lampe au pétrole étant un peu longue, il sera mieux de brûler au-dessus du châssis un bout de fil de magnésium de 8 à 10 centimètres de long.

[2] L'hydroquinone ne doit jamais être filtré sur papier qui l'oxyderait et lui donnerait une coloration brune.

d'hyposulfite à 20 0/0. Le cliché se dépouille aussitôt et gagne de la transparence.

41. **Réactions photochimiques.** — On démontre qu'un cliché voilé ou trop posé peut être réduit en trempant une moitié seulement dans un bain de ferricyanure de potassium et d'hyposulfite, ou encore on renforce un cliché faible dans un bain de bichlorure de mercure. L'opacité du sel déposé est suffisante pour produire l'effet; il est inutile de procéder à un noircissage à l'ammoniaque, dont les résultats ne seraient pas perçus sur l'écran.

VI. — Les fleurs de la glace

42. Nous terminerons le chapitre relatif aux expériences de chimie en décrivant la magnifique expérience de Tyndall, pour montrer la structure cristalline de la glace. On emploiera le dispositif suivant:

On choisit un morceau de glace de 20 à 25 millimètres d'épaisseur, à faces parallèles et bien

exempt de bulles d'air ; un tel morceau se forme naturellement à la surface d'une eau tranquille ; au besoin, on dresse les faces d'un morceau de glace en le frottant sur une lame de métal.

Devant le condensateur on met une cuve d'alun pour dépouiller la lumière de ses rayons calorifiques et on place le morceau de glace verticalement à quelques centimètres en avant (voir la disposition donnée par la figure 4) ; enfin on dispose en avant une grande lentille qu'on éloigne ou rapproche jusqu'à ce qu'on obtienne sur l'écran une image bien pure du bloc de glace. A ce moment on retire la cuve d'alun, et le rayon de lumière chaud « mettra en pièces l'édifice de la glace en renversant exactement l'ordre de son architecture [1] », comme le dit si spirituellement Tyndall, auquel nous laisserons décrire l'expérience. « Observez l'image produite sur l'écran : voici une étoile, en voilà une autre ; à mesure que l'action continue, la glace paraît se résoudre de plus en plus en

[1] *La chaleur considérée comme un mode de mouvement*, par J. Tyndall. — Traduction de l'abbé Moigno. — In-12. Gauthier-Villars et fils.

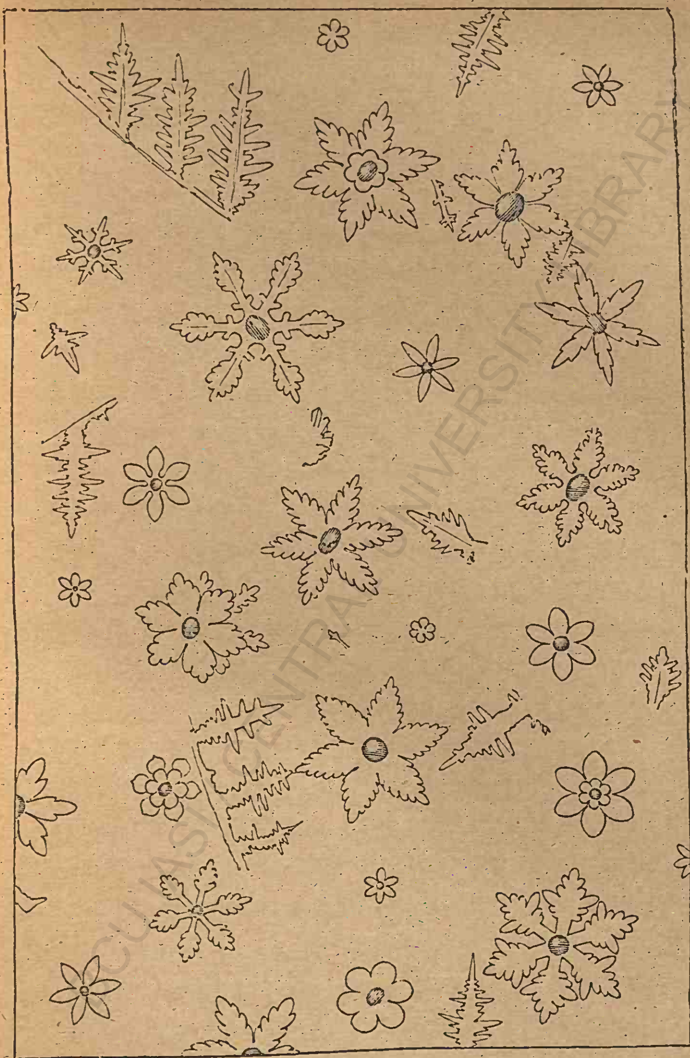


Fig. 22. — Les fleurs de la glace.

étoiles, toutes de six rayons et ressemblant chacune à une belle fleur à six pétales. En faisant aller et venir ma lentille je mets en vue de nouvelles étoiles, et, à mesure que l'action continue, les bords des pétales se couvrent de dentelures et dessinent sur l'écran comme des feuilles de fougère. Très peu probablement des personnes ici présentes étaient initiées aux beautés cachées dans un bloc de glace ordinaire. Et pensez que la prodigue Nature procède ainsi dans tout le monde entier. Chaque atome de la croûte solide qui couvre les lacs glacés du Nord a été fixé suivant cette même loi. La nature dispose ses rayons avec harmonie, et la mission de la science est de purifier assez nos organes pour que nous puissions saisir ses accords. En examinant bien ces étoiles, on aperçoit au centre de chaque fleur une tache qui a le lustre de l'argent bruni. Vous seriez tentés de croire que cette tache est une bulle d'air, mais en l'immergeant dans l'eau chaude vous pouvez faire fondre la glace tout autour de la tache et au moment où elle restera seule vous la verrez s'affaisser et disparaître sans trace aucune de bulle

d'air. Cette tache est un vide. Nous savons que la glace en fondant se contracte et cette contraction nous la prenons ici sur le fait. L'eau des fleurs ne peut remplir l'espace occupé par la glace qui lui a donné naissance par sa fusion, de là production d'un vide, compagnon inséparable de chaque fleur liquide. »

*
* *

L'étude des décompositions chimiques produites par l'électricité sera faite dans le chapitre x.



BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY



CHAPITRE V

L'OPTIQUE EN PROJECTION

SOMMAIRE : Généralités. — I. Marche des rayons lumineux. — Cuve de démonstration. — Formation des images. — II. Défauts des lentilles. — Aberration de sphéricité. — Astigmatisme. — Distorsion-Achromatisme. — III. Application des lois de la lumière. — Réflexions totales. — Kaléidoscope. — IV. Le mouvement vibratoire. — Les ondes lumineuses. — Nœuds et ventres. — Interférences. — Franges d'interférence.

43. **Généralités.** — La lanterne de projection est éminemment propre à servir aux démonstrations des phénomènes de l'optique ; ceux-ci sont de divers ordres, selon qu'on les considère subjectivement ou objectivement.

Dans ce chapitre, nous nous occuperons particulièrement des lois de la propagation de la lumière, de la formation des images et du mouvement vibratoire qui donne lieu aux manifestations lumineuses.

I. — Marche des rayons lumineux

44. **La cuve de démonstration.** — Un rayon de lumière est parfaitement invisible par essence et ne peut être mis en évidence qu'en lui faisant traverser un milieu rempli de petits corpuscules opaques qui, s'éclairant sur son passage, indiquent nettement sa marche. Cette démonstration se fait aisément en envoyant dans l'espace un mince faisceau de lumière obtenu en diaphragmant l'avant de l'objectif.

Le rayon est invisible dans son passage à travers l'air; mais si, sur son trajet, on fait passer de la fumée de tabac, ou de fines poussières obtenues en secouant, par exemple, un linge imprégné d'amidon ou de poudre de riz, aussitôt le passage du rayon se trouve marqué par une ligne blanchâtre facilement perçue.

Tyndall a fait cette démonstration d'une très élégante façon : en avant du condensateur d'une lanterne à arc électrique il dispose un tube d'environ un mètre de long et de 10 à 15 cent. de diamètre. Le vide étant fait dans le

tube, il laisse passer la lumière, et le tube reste sombre. A ce moment il fait entrer un peu de vapeurs d'éther ou d'essence volatile et le tube s'illumine aussitôt.

Lorsqu'il s'agit de montrer à tout un auditoire les diverses inflexions que peut prendre un rayon lumineux en traversant des espaces de densités différentes on emploiera une cuve spéciale, dont nous allons décrire sommairement la composition et le mode d'emploi.

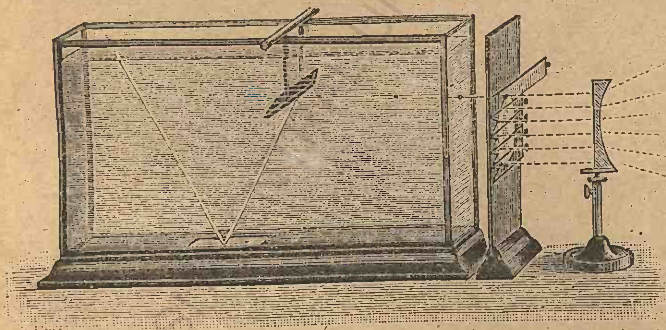


Fig. 23. — Cuve pour la démonstration des lois de la lumière.

Cette cuve se compose de deux parois de verre mastiquées sur une monture métallique ou assemblées à l'aide de serre-joints sur une mon-

ture de bois garnie de caoutchouc. (Voir *fig.* 23.)

Cette cuve a environ 25 à 30 centimètres de haut sur 50 à 60 centimètres de long; elle est très étroite, les deux larges parois sont espacées d'environ 6 à 8 centimètres. On la remplit d'eau pure qu'on rend translucide en y ajoutant un peu de lait ou de l'eau de Cologne; on obtient ainsi un liquide opalescent qui s'illumine fortement au passage du rayon lumineux. L'objectif de la lanterne est diaphragmé de manière à ne laisser passer que le centre du faisceau, dont les rayons sont, au besoin, rendus parallèles à l'aide d'une lentille plan concave.

Le faisceau lumineux est dirigé suivant l'axe de la cuve, dans laquelle il pénètre par une des faces latérales qui, à cet effet, est en glace; mais il est arrêté avant son entrée par un écran portant une fente verticale devant laquelle manœuvrent une série de petits coulisseaux entaillés en V. Le faisceau parallèle venant à tomber sur l'écran, si on tire le coulisseau du haut et celui du bas de manière qu'il se produise deux petites ouvertures triangulaires, deux faisceaux parallèles de lumière pénétreront dans la cuve

et traceront dans le liquide opalin deux raies lumineuses ; mettons devant l'une des ouvertures une petite plaque de gélatine colorée en rose pâle ou en bleu et il sera possible de distinguer les deux rayons dans toutes les inflexions qu'ils pourront prendre. Ces deux filets parallèles au sein du liquide nous prouvent déjà la marche en ligne droite de la lumière.

Recevons un des rayons sur un petit miroir incliné que nous descendrons dans la cuve, le rayon se brisera aussitôt et prendra, après avoir frappé le miroir, une direction telle que l'angle d'incidence sera égal à l'angle de réflexion. Cette expérience est indiquée dans la figure 23.

Plaçons maintenant dans la cuve une lentille de manière à la faire traverser symétriquement par les deux rayons : nous voyons ceux-ci, entrés parallèlement dans la lentille, sortir déviés de manière à se rencontrer. Nous n'insisterons pas sur les déductions qu'en tirera le conférencier : formation du foyer principal, divergence des rayons à partir du foyer, renversement de l'image, etc.

La théorie du prisme, des lentilles con-

caves, etc., est aussi facilement démontrée; toutes les grandes lois de la réflexion et de la

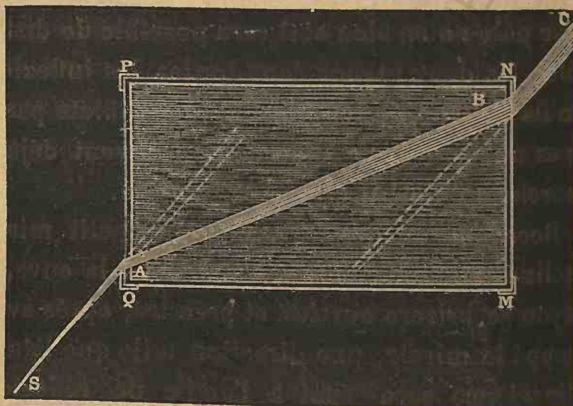


Fig. 24. — La réfraction dans l'eau et l'air.

réfraction sont encore expliquées en forçant la lumière à tracer elle-même les diagrammes nécessaires. Sans que nous entrions dans de plus amples détails on conçoit que cette cuve peut servir à toutes les démonstrations de l'optique géométrique.

II. — Étude des lentilles et formation des images

Une autre série d'expériences nous permettra de mettre en évidence les lois de la formation des images et les propriétés des lentilles.

45. **Formation des images.** — Devant le condensateur de la lanterne on mettra un tableau sur lequel est dessinée une flèche verticale; le procédé le plus simple, pour obtenir un tel

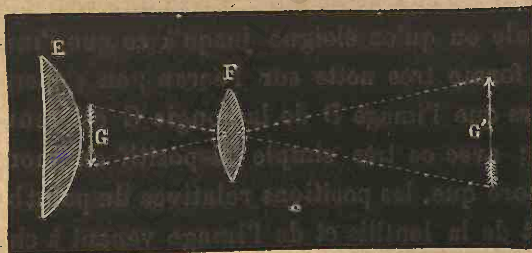


Fig. 25. — Formation des images.

tableau, consiste à noircir une plaque de verre avec du noir de fumée en la passant au-dessus d'une flamme fuligineuse, puis, à l'aide d'un crayon fin, on dessine la flèche; le verre sera

mis à nu et en projection on obtiendra une image très lumineuse sur fond noir. Ce tableau se conservera très bien si on a soin de le monter à la manière habituelle en le doublant d'un verre de garde et d'une cache[1].

Le tableau G étant mis devant le condensateur E, on reçoit le faisceau lumineux qui le traverse sur une lentille F et il se forme sur l'écran une image *renversée* G' de la flèche.

On démontre encore ce phénomène d'une façon très simple en interposant, entre une bougie allumée et un écran blanc, une lentille AB, qu'on recule ou qu'on éloigne jusqu'à ce que l'image se forme très nette sur l'écran ; on s'aperçoit alors que l'image D de la bougie C est renversée ; avec ce très simple dispositif on montre encore que, les positions relatives du point brillant de la lentille et de l'image venant à changer, l'image peut croître ou décroître, suivant que l'écran s'approche ou s'éloigne et que

[1] On peut au besoin, pour avoir une image plus solide, recouvrir la plaque de bitume de Judée dissous dans de la benzine, on solidifie la couche par exposition au soleil ; le dessin sera obtenu à l'aide d'une échoppe de graveur.

l'image est d'autant plus brillante qu'elle est plus petite.

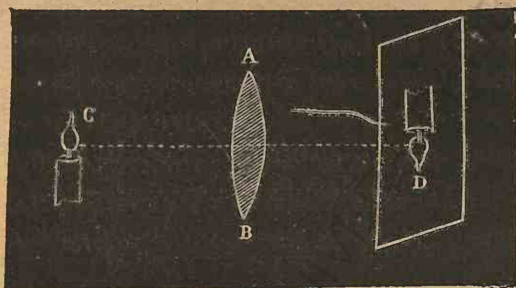


Fig. 26. — Inversion des images.

On démontre que : 1° la grandeur de l'image est fonction des distances de la lentille à l'écran et au tableau, en déplaçant l'écran et la lentille de façon convenable (*lois du grossissement*) ;

2° Pour une position donnée de l'écran correspond une position particulière de la lentille donnant une image nette (*mise au point*) ;

3° La grandeur de l'image est dépendante du foyer de la lentille et des positions relatives de l'écran et du tableau et non de l'ouverture de la lentille, puisqu'en diaphragmant celle-ci, l'image

ne change pas de grandeur, sa luminosité seule diminue.

46. **Observations.** — Dans cette première série d'expériences il est utile de se servir d'une lentille achromatisée ou, mieux, d'un objectif, afin d'éviter les aberrations spéciales des lentilles que nous étudierons plus loin.

Le support de la lentille devra être guidé par des rails ou tout autre dispositif semblable, de manière à se mouvoir toujours suivant la direction du faisceau lumineux ; le plan de la lentille sera maintenu perpendiculaire à cette direction et les axes de la lentille et du faisceau devront coïncider exactement, sinon on aurait des déformations de l'image. On ne saurait trop appuyer sur ces différents points pour assurer la réussite des expériences.

III. — Défauts des lentilles

47. Les images fournies par les lentilles sont sujettes à diverses déformations qu'on nomme *aberrations* et qui proviennent de la cons-

truction même des lentilles ; on fait ressortir ces divers défauts de la façon suivante :

48. **Aberration de sphéricité.** — Devant le condensateur disposons une plaquette de métal au centre de laquelle a été pratiquée une mince ouverture en forme de croix [1] et recevons le faisceau lumineux sur une grande lentille simple non achromatique, qui formera sur l'écran une image de la croix à bords indécis et colorés

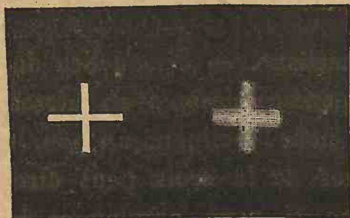


Fig. 27 et 28. — Aberration de sphéricité.

(*fig.* 28). Plaçons devant la lentille un écran percé d'un trou central pour éviter les rayons marginaux, la croix devient aussitôt plus nette, mais

[1] On peut aussi employer un tableau comme celui que nous avons décrit plus haut.

BCU UNIVERSITY LIBRARY

aussi moins lumineuse (*fig.* 27) ; nous prouverons que les irrisations et le flou provenaient des rayons marginaux, en remplaçant le premier écran par un autre percé de deux trous correspondant aux bords de la lentille ; on obtient alors en projection une double croix (*fig.* 29), aux bords indécis, ce qui démontre, de la façon la plus évidente, que la rencontre des rayons centraux et des rayons marginaux ne se fait pas sur un point unique, comme on l'admet dans l'optique géométrique[1].

49. **Astigmatisme.** — Si, au lieu de placer la lentille perpendiculairement au faisceau issu de la lanterne, nous l'inclinons un peu, une seule des branches de la croix peut être mise au point, même si nous employons le premier écran qui supprime les rayons marginaux. Tantôt c'est la branche verticale, tantôt la branche horizontale qui devient floue, suivant que nous

[1] Cette expérience et les suivantes qui sont classiques ont été très élégamment décrites et groupées par M. Wallon dans sa conférence sur l'*histoire d'un objectif photographique*, faite au Conservatoire des Arts et Métiers et publiée par M. Gauthier-Villars, 1892.

inclinons la lentille autour d'un axe horizontal ou vertical : c'est ce qu'on nomme l'*astigmatisme* (*fig*. 30).

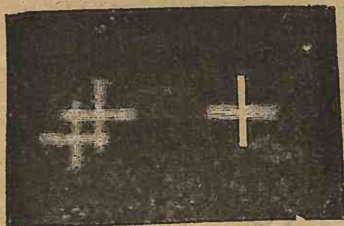


Fig. 29 et 30. — Astigmatisme.

50. **Distorsion.** — On corrige ce manque de netteté des images de la lentille en disposant sur le trajet des rayons un écran percé d'un trou central qu'on nomme *diaphragme*, de manière à forcer les rayons marginaux à passer suivant un degré d'obliquité déterminé, mais on produit alors l'apparition d'un nouveau défaut.

Plaçons devant le condensateur une plaque de verre sur laquelle a été dessinée un réseau formé par deux séries de lignes parallèles et, entre l'écran et la lentille, disposons un diaphragme ; nous trouverons pour celui-ci une place telle que l'image sera nette, mais les

lignes seront incurvées vers l'extérieur, c'est la *distorsion en barillet* (*fig.* 31). Si nous plaçons le diaphragme en avant de la lentille, nous obtiendrons une nouvelle image nette, mais déformée en sens contraire, c'est la *distorsion en*

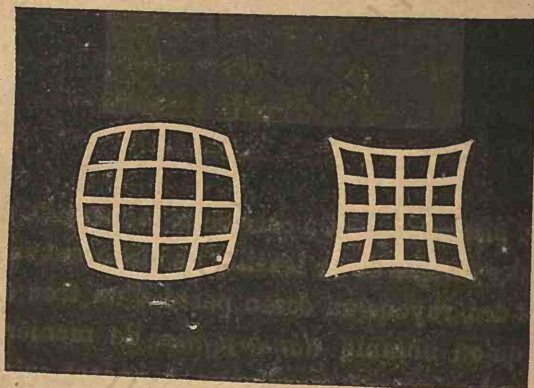


Fig. 31 et 32. — Distorsions.

croissant (*fig.* 32), que nous pourrons faire disparaître en disposant, en avant du diaphragme, une seconde lentille, les deux distorsions inverses produites par les lentilles tendant à se détruire. C'est là le principe des objectifs doubles photographiques.

51. Achromatisme. — Faisons tomber sur la lentille un faisceau de rayons parallèles et disposons près de cette lentille un diaphragme percé d'une ouverture annulaire : sur l'écran nous obtiendrons une tache irrisée ; si on rapproche ou on éloigne la lentille, la tache changera successivement de teintes : tantôt le bord extérieur sera bleu à centre rouge, tantôt l'inversion des couleurs se produira, ce qui indique que les divers rayons colorés ne concourent pas tous à un même foyer. Une lentille plan concave convenablement choisie appliquée contre la lentille biconvexe fera disparaître le défaut, et la lentille sera rendue ainsi *achromatique*.

Cette expérience reprise avec une vue photographique donne lieu à de fort intéressantes projections aux tonalités changeantes ; avec une lentille simple on remarquera que toutes les lignes sont frangées soit de rouge, soit de bleu suivant la position de l'écran ; ces irrisations disparaîtront dès qu'on doublera la lentille d'un plan concave de courbure et de densité bien choisies.

52. **Observations générales.** — Dans les expériences qui précèdent et les similaires dont on trouvera la description dans tous les traités de physique, il est absolument important que les lentilles et les divers écrans soient disposés, de manière à être exactement centrés sur l'axe du faisceau lumineux; sinon, on aurait des aberrations secondaires qui nuiraient à la netteté du phénomène observé.

Plus le foyer lumineux sera réduit, plus on obtiendra des faisceaux nets et, à ce point de vue, il est évident que la lumière électrique convient le mieux.

Lorsqu'on veut démontrer la marche simultanée de plusieurs rayons, il est bon de les colorer en interposant sur leur trajet, comme nous l'avons dit, de petites lamelles de gélatine colorée ou des verres de couleur minces; il est plus facile alors de suivre divers rayons.

Nous n'avons voulu ici qu'indiquer les principales expériences, sans entrer dans l'exposition ou la discussion des faits, notre but étant de montrer seulement de quelle façon on pourrait présenter ces phénomènes; mais le conférencier

ou le professeur sauront tirer parti de ces premières indications pour constituer un cours complet d'optique géométrique selon les besoins.

IV. — Applications des lois de la lumière

Nous indiquerons maintenant quelques-unes des expériences qui découlent de ces premiers faits d'observations et qui donnent lieu à de très curieux spectacles.

53. **Réflexion totale.** — Une des plus curieuses applications des phénomènes de la réflexion est l'expérience due à Colladon, célèbre physicien génevois, et à laquelle on a donné le nom de *fontaine de Colladon*. On sait que, lorsqu'un rayon de lumière, ayant pénétré sous un angle très oblique dans une masse d'eau, va frapper la surface extérieure du liquide au lieu de sortir dans l'air, il se réfléchit tout entier, de nouveau, dans l'eau : c'est ce qu'on nomme la réflexion totale.

Si par un ajutage convenable, on fait sortir à

la fois un faisceau de lumière et un jet d'eau, la lumière reste emprisonnée dans le liquide et, au lieu de suivre un chemin en ligne droite, suivant ses lois habituelles, par suite d'une série de réflexions totales, elle suit la trajectoire parabolique de la veine d'eau, et celle-ci dès lors s'illumine et prend l'aspect d'une barre de métal incandescent.



Fig. 33. — Fontaine de Colladon. — Modèle Molteni.

On a donné à la fontaine de Colladon de nombreuses formes ; la plus commode est représentée dans la figure 33[1]. Elle se compose d'une

[1] M. Lavaud de Lestrade a indiqué dès 1878 cette forme de construction que nous avons dû modifier un peu en vue d'autres expériences décrites plus loin.

BOĞAZİÇİ CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

chambre cylindrique en métal, qui coiffe la bonnette de l'objectif; la face arrière est constituée par une lame de verre appliquée sur le fond à l'aide d'un anneau fileté et rendue étanche grâce à une rondelle évidée en caoutchouc ; la face avant est percée en son centre d'une ouverture munie d'un ajutage fileté sur lequel se vissent une série de bouchons percés d'ouvertures diverses, qui donnent à la veine des formes différentes. Un ajutage à robinet met la chambre en communication, par un tube de caoutchouc, avec un réservoir d'eau placé au dessus.

On fait varier les couleurs de la veine en mettant devant le condensateur des verres de couleurs différentes [1].

54. **Observations.** — Pour bien réussir l'expérience, il est d'abord utile de disposer la lanterne sur le côté de l'écran, de manière à présenter la veine fluide latéralement. La lanterne devra être placée sur un pied élevé pour avoir

[1] Les fontaines lumineuses qui ont eu tant de succès à l'Exposition de 1889 ne sont qu'une variante de cette expérience.

un jet plus allongé; mais, pour que la veine ne se résolve pas trop vite en gouttelettes séparées, on doit donner une certaine charge à l'eau, ce qui s'obtient en surélevant le réservoir et en l'entretenant toujours plein à la même hauteur; on y arrive en munissant le réservoir d'un tuyau de trop-plein et en réparant au besoin les pertes d'eau avec une petite pompe; sinon, on verrait la trajectoire parabolique de l'eau changer de forme peu à peu avec la diminution de pression. Pour changer rapidement les bouchons on ferme le robinet d'arrivée d'eau, on vide la chambre et on visse un nouvel ajutage.

55. **Le kaléidoscope.** — Les phénomènes de réflexion se démontrent, en particulier, par le moyen du *kaléidoscope*. Cet appareil est très ancien et paraît avoir été inventé par Porta, qui l'a décrit dans sa *Magie naturelle* (1565); il a été, depuis, perfectionné par Brewster. Le kaléidoscope de projection se compose d'un tube dans lequel sont placés deux miroirs montés en forme de V (voir *fig.* 34, A), suivant un angle variable. Le tube se visse en avant du conden-

sateur à la place de l'objectif, il porte à l'arrière un condensateur et, à l'avant, une lentille objective, qui glisse dans un contre-tube pour la mise au point de l'image. Celle-ci est produite par la réflexion de petits morceaux de verres colorés, fragments de mousse, etc., placés entre deux

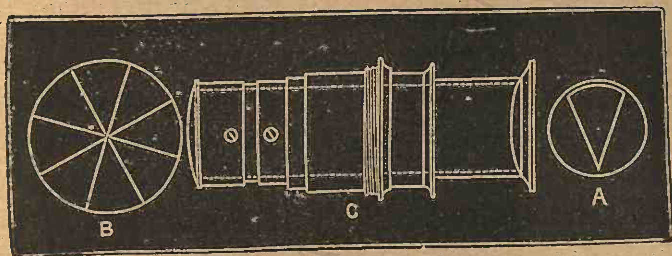


Fig. 34. — Schéma du kaléidoscope de projection.

disques de verre dans une monture spéciale qu'on met dans les glissières (voir *fig.* 35); grâce à une manivelle, on peut imprimer aux deux disques un mouvement de rotation qui déplace continuellement les morceaux de verre et produit sur l'écran des séries de rosaces symétriques dont les dessins varient à l'infini pour le moindre déplacement des fragments colorés.

On peut employer les objets les plus divers,

épis de blé, barbes de plumes, etc. On obtiendra chaque fois de nouveaux dessins aux formes

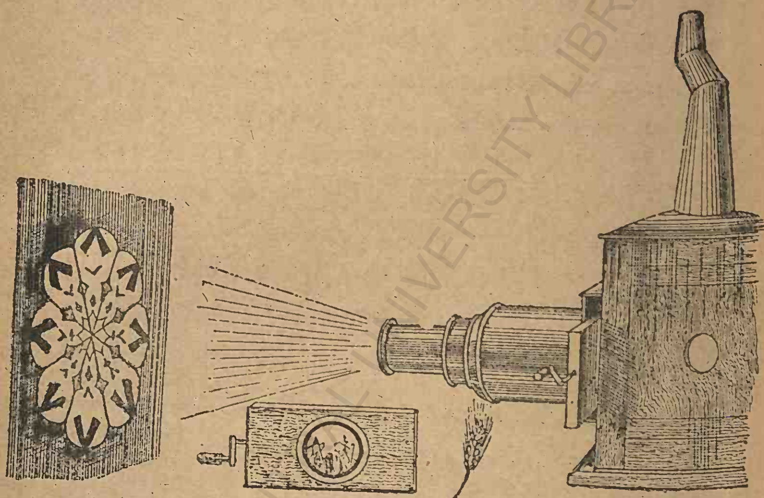


Fig. 35. — Le kaléidoscope de projection.

capricieuses et changeantes qui excitent à juste raison l'admiration des spectateurs. La figure 35 nous donne le dispositif général de l'expérience et le résultat obtenu.

Si l'angle des glaces est de 60° (angle au centre de l'hexagone) il y a six réflexions successives, la rosace est à six secteurs; si l'angle est de 45°

(octogone), il y en a huit. Il est utile, pour obtenir l'effet voulu de décentrer en hauteur le point lumineux de manière à déterminer une première réflexion de la lumière sur l'un des miroirs ; la réussite dépend du réglage de la lumière, mais il est à noter qu'il est impossible d'amener les six ou huit secteurs à avoir la même intensité lumineuse. En effet le premier est fourni par la lumière transmise directe, les autres par des faisceaux de lumière qui s'affaiblissent successivement par leurs réflexions, et le secteur opposé par le sommet au plus brillant est généralement très peu éclairé.

IV. — Le mouvement vibratoire. — Interférences

56. Les ondes lumineuses. — Les théories actuelles démontrent que la lumière est un mode de mouvement, c'est une vibration ; sans chercher ici à démontrer le bien-fondé de cette théorie nous indiquerons les principales expériences qui servent à l'établir.

On démontre le mode de propagation des ondes, sans que leur production soit accompagnée de

translation, à l'aide de l'appareil suivant, dû, croyons-nous, au professeur Fergusson.

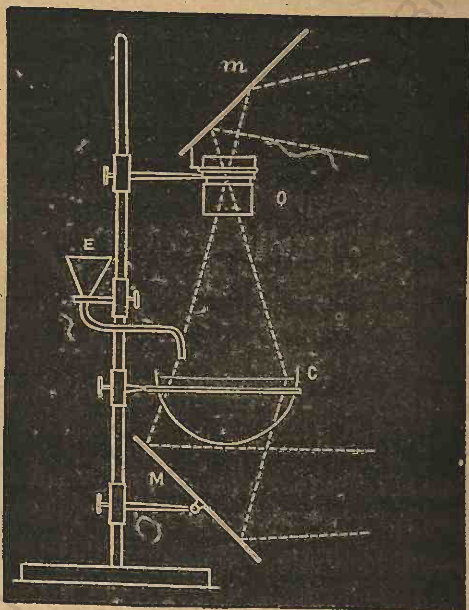


Fig. 36. — Formation du mouvement ondulatoire.

Une coupe de verre mince, ayant exactement la forme d'une calotte sphérique[1] et à demi rem-

[1] On l'obtient facilement en découpant au diamant le fond d'un ballon de chimie.

plie d'alcool, est placée au-dessus d'un miroir incliné à 45° sur lequel vient tomber le faisceau émané de la lanterne de projection. Cette coupe d'alcool joue le rôle de condensateur ; au dessus est disposé un objectif vertical muni d'une glace inclinée. On peut se servir pour cette expérience du support à réflexion totale décrit plus haut. (Voir ch. II, page 27.)

On dépose sur la surface de l'alcool un brin de paille pour assurer le point sur l'écran et, après l'avoir enlevé, on fait tomber goutte à goutte, au centre de la coupe, de l'alcool contenu dans un entonnoir latéral. Il se forme à la surface du liquide un système d'ondes circulaires qui vont en s'élargissant du centre à la circonférence et donnent sur l'écran une très remarquable image. On montre que ce mouvement ondulatoire a lieu sans translation en déposant sur le liquide un petit fétu de paille : celui-ci est soulevé au passage de l'onde et s'abaisse ensuite sans changer de place[1].

[1] Il est préférable de se servir d'alcool, plutôt que tout autre liquide, à cause de sa grande mobilité.

57. **Nœuds et ventres.** — Les dilatations et les contractions produites par la vibration ondulatoire sont démontrées à l'aide d'un appareil particulier que nous décrirons sommairement.

Un châssis de bois est percé d'une ouverture devant laquelle est disposée une petite plaque de métal percée d'une fente étroite [1] ; en arrière peut tourner un disque en verre sur lequel sont tracées une suite de circonférences d'après le procédé suivant :

Le grand cercle extérieur étant dessiné, on trace un cercle concentrique dont la distance au cercle extérieur est égal à la hauteur de la fente étroite. On trace enfin un dernier cercle concentrique d'un rayon égal au huitième ou au dixième de la longueur de la fente et on divise le pourtour de ce cercle en autant de parties. D'autre part, ayant tracé un rayon de la grande circonférence, on divise l'espace entre les deux cercles en huit ou dix parties égales. Mettant alors la pointe d'un compas sur la division du petit cercle passant par le rayon tracé et l'autre

[1] On emploie un verre noirci ou même un cliché photographique quand la fente doit être très étroite.

pointe sur la première division de la partie comprise entre les cercles (cette première division est celle qui est la plus rapprochée du centre), on décrit une circonférence. Mettant ensuite une pointe du compas sur la deuxième division du petit cercle et l'autre pointe sur la division suivante du rayon, on trace une seconde circonférence et ainsi de suite de proche en proche. On obtient ainsi une suite de circonférences excentrées dont le lieu des points de rapprochement forme une spirale. Ces circonférences ont dû être tracées en lignes transparentes sur fond noir et le meilleur moyen est de faire l'épure en grand et de la réduire par la photographie à la grandeur voulue.

Univ. „Al. I. Cuza" Bibl. de Fizică

Le disque de verre ainsi préparé tourne lentement derrière la fente ; en projection l'intersection de celle-ci et des courbes transparentes se traduit par une série de points qui semblent se contracter ou se dilater successivement en donnant le schéma de la vibration ondulatoire.

La propagation de l'onde se démontre avec le même appareil, dans lequel on remplace la fente unique par une plaquette portant plusieurs

fentes parallèles[1]; le disque de verre est remplacé par un autre sur lequel a été tracée une sinusoïde convenablement déformée pour que, dans son mouvement, son tracé reste régulier en projection.

58. **Interférences.** — On sait que les interférences, dont la théorie a été posée par Young et démontrée plus tard expérimentalement par Fresnel, sont dues à la rencontre des ondes lumineuses dans des conditions telles que leurs phases soient de signe contraire.

On démontre schématiquement le fait en employant l'appareil ci-dessus; on se sert de deux lanternes munies chacune du châssis avec le disque portant la sinusoïde et on superpose les deux images; si une des roues tourne dans un sens et l'autre en sens contraire, on voit qu'il y a alternativement condensation et dilatation de l'ondulation suivant que les courbes sont tangentes ou excentrées.

[1] Dans l'appareil que nous avons établi avec l'aide de M. Molteni, une seule plaquette munie d'une fente ou d'une série de fentes coulisse devant l'ouverture du châssis.

On le démontre encore plus simplement en traçant à l'encre sur deux lames de verre deux sinusoïdes symétriques et en les faisant aller et venir en sens inverse l'une de l'autre.

On peut encore faire interférer des ondes liquides en employant le dispositif dont s'est

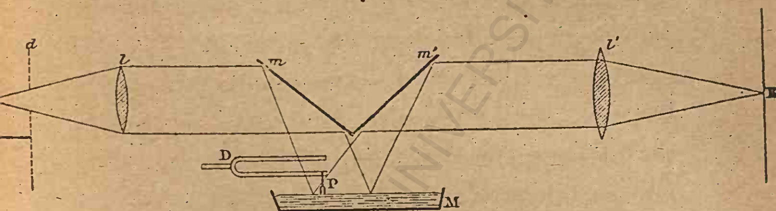


Fig. 57. — Démonstration des interférences.

servi M. Berget dans une conférence de M. Lippmann, au Conservatoire des Arts et Métiers, conférence dans laquelle le savant professeur démontrait que c'était par la méthode interférentielle qu'il était arrivé à produire les photographies colorées qui ont eu un si vif succès en 1891.

Un bain de mercure M est disposé horizontalement et la lumière émanée par la lanterne L est projetée à sa surface par un premier miroir in-

cliné m ; après avoir frappé le mercure, la lumière vient s'infléchir sur un second miroir m' et, recueillie par un objectif l', forme sur l'écran E l'image des ondes provoquées à la surface du mercure. Ces ondes sont déterminées par un petit trembleur électrique ou par un diapason D mis en vibration ; elles vont frapper sur les parois du vase et, revenant sur elles-mêmes, interfèrent avec les ondes nouvelles. Il se forme sur l'écran un merveilleux réseau de bandes croisées qui donne au spectateur la complète idée du phénomène. On peut créer de nouveaux centres d'interférence en mettant à la surface du mercure de petits obstacles sur lesquels les ondes viendront se briser.

59. **Franges d'interférences.** — La projection des bandes d'interférences est assez délicate : on peut employer deux procédés que nous allons analyser.

Voici d'abord la méthode de Fresnel : sur la bonnette de l'objectif on dispose le bouchon à fente variable, qu'on rétrécit autant que possible, et on concentre la lumière sur cette fente,

de manière à avoir un faisceau plat bien défini[1]. On fait arriver ce faisceau sur un premier miroir NO (*fig.* 38). Monté sur une platine verticale PQ, ce miroir peut, grâce à une glissière A et une vis à bouton molleté C, s'avancer ou reculer de quantités infiniment petites qu'on peut

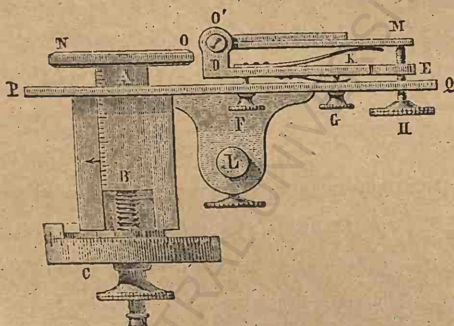


Fig. 38. — Les miroirs de Fresnel.

mesurer à l'aide des verniers plat B et circulaire C. Un second miroir O'M tournant autour d'une charnière D peut s'incliner par rapport au premier, grâce à une vis H et des ressorts

[1] Pour arriver à ce but, le mieux est de supprimer l'objectif et de le remplacer par une lentille cylindrique qui formera sur la fente une tranche lumineuse très intense.

antagonistes G et K. Le rayon se brise sur le premier miroir, puis s'interfère sur le second et, passant par une grande lentille, forme sur l'écran une série de bandes alternativement claires et sombres; les bandes centrales sont les plus brillantes et les espaces noirs très marqués; puis les franges vont en s'effaçant de chaque côté et se fondant les unes dans les autres; dès que l'on masque avec un écran l'un des deux miroirs les franges disparaissent.

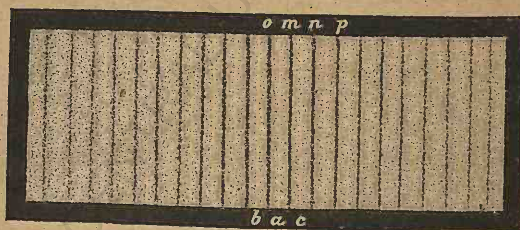


Fig. 39. — Franges d'interférences.

L'écartement des franges varie avec la couleur du rayon lumineux ou, si on préfère, avec le nombre de vibrations du rayon; il est en raison inverse de la vitesse du mouvement vibratoire : ainsi le violet donne des franges très étroites,

peu étalées; le rouge, des franges plus larges et plus étalées. On le démontre en disposant devant la fente des verres colorés; mais, comme le

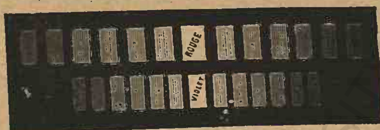


Fig. 40. — Différence de longueur des franges d'interférences colorées.

phénomène est déjà peu lumineux par lui-même, on devra employer des verres n'absorbant pas trop la lumière, c'est-à-dire peu colorés,

Les miroirs de Fresnel ne donnent que des images très pâles qui ne peuvent être observées par un nombreux auditoire; aussi sera-t-il préférable d'employer un biprisme. Celui-ci se compose de deux petits prismes très plats accolés, ou, mieux, d'un prisme triangulaire isocèle dont les deux faces obliques font un angle très aigu avec la base. En avant du condensateur on dispose une lentille cylindrique qui concentre la lumière sur un écran à fente verticale. La mince lame de lumière est dirigée sur une des faces du biprisme où elle subit une double réfraction et,

à sa sortie, elle est reprise par une lentille achromatique qui l'étale sur l'écran.

Pour réussir cette expérience il faut un puissant faisceau de lumière : il est indispensable d'avoir recours à la lumière électrique ; le bec oxhydrique peut, au besoin, être employé, mais l'image sera très pâle.



BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY



CHAPITRE VI

LA LUMIÈRE ET LES COULEURS

Sommaire : Considérations générales. — I. Décomposition et recomposition de lumière. — La dispersion. — Décomposition et recomposition par le prisme. — Les réseaux. — Recomposition de la lumière. — Disque de Newton. — II. Couleurs complémentaires. — Généralités. — Verres colorés. — Appareil Lavaud de Lestrade. — Projections stéréoscopiques.— III. Etude du spectre. — Son étendue. — Radiations calorifiques et chimiques. — Raiés spectrales. — IV. Les couleurs. — Couleurs de la nature. — Lumière monochrome. — Projections polychromes. — V. Polarisation. — Polariscope de projection. — Objets à projeter. — VI. Les lames minces. — Théorie générale. — Eau de savon. — Lames et bulles de savon. — Irisations.

60. **Considérations générales.** — Dans le chapitre précédent nous avons étudié les appareils permettant de mettre en évidence les grandes lois de la marche des rayons lumineux; nous avons indiqué les principales démonstrations qui servent à établir et à expliquer la théorie des ondulations. Nous verrons dans ce chapitre les méthodes employées pour distinguer les

diverses vibrations que notre œil perçoit sous forme de rayons colorés.

Nous aurons donc à exposer successivement les procédés de décomposition et de recomposition de la lumière blanche, les expériences diverses sur la combinaison des rayons colorés, le rôle que joue la couleur dans la nature et enfin la forme particulière que peuvent prendre les vibrations et qu'on nomme *polarisation*.

Nous étudierons seulement les méthodes de projection sans chercher à entrer dans les considérations théoriques.

I. — Décomposition et recomposition de la lumière

61. **La dispersion.** — Nous rappellerons brièvement qu'on nomme *réfraction* le changement de direction que prend un rayon de lumière en passant d'un milieu homogène dans un autre milieu. Lorsque le faisceau arrive avec une certaine obliquité dans un milieu *réfringent*, la réfraction pour les diverses vibrations qui composent dans leur ensemble la lumière blanche est d'autant

plus prononcée que le nombre des vibrations est plus considérable et que leur longueur d'onde est plus petite. Cette décomposition de la lumière blanche est ce qu'on nomme la *dispersion*, phénomène mis en évidence en 1675 par Newton.

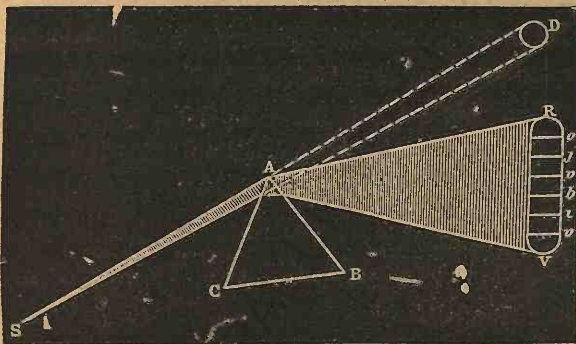


Fig. 41. — Le spectre solaire.

Un rayon de soleil, formant un mince pinceau, est dirigé sur un prisme ; il subit dans son passage une sorte de triage et s'étale à sa sortie sur l'écran en présentant une série de bandes colorées se fondant les unes dans les autres. Newton a reconnu sept couleurs principales, mais le mélange de ces sept nuances deux à deux offre réellement une infinité de teintes; ces cou-

leurs sont, par ordre de déviation décroissante, violet, indigo, bleu, vert, jaune orange et rouge.

62. **Décomposition de la lumière par le prisme.** — La décomposition de la lumière par le prisme s'opère de la façon suivante :

En avant du condensateur, on dispose un diaphragme percé d'une étroite fente qu'on peut, au besoin, rétrécir à l'aide de deux lamelles de

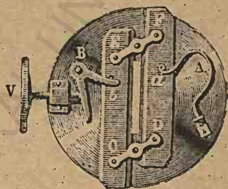


Fig. 42. — Diaphragme à fente variable.

cuivre manœuvrées par une vis et un contre-ressort. On détermine ainsi la production d'un faisceau vertical étroit qu'on reçoit sur une lentille, puis, au sortir de celle-ci, sur un prisme vertical ; le faisceau est dévié au sortir du prisme du côté de la base de celui-ci. L'angle de réfraction et la dispersion du faisceau, c'est-à-

dire son étalement sur l'écran, varient avec la substance dont est formé le prisme.

Le sulfure de carbone a un pouvoir dispersif de 0,115, tandis que le flint-glass n'a que 0,052 et le crown 0,036. Pour obtenir un spectre largement étalé il conviendra donc de se servir d'un prisme de sulfure de carbone ; on emploie dans ce but une bouteille de verre mince, de forme prismatique, qu'on remplit aux trois quarts de sulfure de carbone et qu'on ferme exactement à l'aide d'un bouchon à l'émeri. Il ne faut pas oublier que le sulfure de carbone émet très facilement à la température ordinaire des vapeurs d'une odeur insupportable et très inflammables.

62 *bis*. **Observations.** — La lumière solaire, qui contient toutes les vibrations possibles, est évidemment la plus propre pour réussir l'expérience ; viennent ensuite la lumière électrique et la lumière oxhydrique. Les lampes à pétrole qui ont une lueur rouge orangé ne donnent qu'un spectre très imparfait.

Pour bien réussir l'expérience il faut opérer de la façon suivante : devant le condensateur

ou sur la bonnette de l'objectif et en avant d'elle, de manière à ce qu'il soit bien éclairé, on dispose un diaphragme percé d'une mince fente. Si on ne veut que projeter les différentes couleurs la fente aura environ 1 à 2 millimètres de large ; si on veut montrer en même temps les raies de Fraüenhofer la fente devra être très fine et, à défaut d'un bouchon décrit ci-dessus, on se servira d'une plaque de verre noircie avec une couche de bitume de Judée sur laquelle on pratiquera une incision avec un canif bien coupant ; on aura ainsi une fente très fine et très propre aux expériences que nous décrivons plus loin.

A une certaine distance en avant de cette fente on dispose une lentille [1] et on met l'image de la fente parfaitement au point sur l'écran. Ceci fait, on place en avant de la lentille un prisme dont les arêtes doivent être parallèles à la fente ; le prisme réfractant la lumière sur le côté, on place un écran accessoire pour recevoir

[1] Cette lentille doit être d'un foyer un peu long, d'au moins 30 à 35 cent.

le spectre et on tourne doucement le prisme sur son axe jusqu'à ce qu'on ait obtenu le maximum de dispersion. On peut augmenter la dispersion en faisant passer le faisceau à sa sortie du premier prisme à travers un second prisme parallèle au premier.

Si on veut, au contraire, pouvoir observer les raies, le prisme devra être orienté de manière à donner le minimun de déviation : le spectre est ainsi plus brillant et les raies plus facilement observées.

La lumière oxhydrique donne un spectre continu et ne peut être employée pour l'observation des raies ; c'est, en effet, la caractéristique des corps incandescents, il faut que ceux-ci soient entourés d'une atmosphère gazeuse pour qu'il y ait production de raies ; nous aurons du reste à revenir plus loin sur cette question.

63. **Prisme à vision directe.** — Le dispositif que nous venons de décrire a l'inconvénient de rejeter le spectre sur le côté; et il y a donc lieu soit d'employer un écran auxiliaire, soit de

mettre la lanterne sur le côté de l'écran. Si on ne veut déplacer ni la lanterne ni l'écran, on emploiera le prisme d'Amici, représenté par la figure 43 ; il se compose d'une série de plusieurs prismes convenablement taillés et enchâssés les



Fig. 43. — Prisme d'Amici.

uns dans les autres. Tous les prismes impairs C sont en crown et les prismes pairs F en flint ; ils sont montés dans un tube, et on les dispose à la place du prisme de sulfure de carbone ; le rayon lumineux n'est pas dévié, en revanche le spectre est moins lumineux, par suite de la série d'absorption que le faisceau a à subir.

64. **Recomposition de la lumière.** — On démontre inversement que le mélange de ces rayons colorés forme de la lumière blanche ; il existe plusieurs modes de démonstration.

Si on reçoit le faisceau dispersé au sortir du prisme sur une grande lentille achromatique, il

se forme sur l'écran, convenablement disposé, l'image de la fente nettement délimitée et parfaitement blanche ; la lentille a concentré de nouveau les rayons.

A l'aide d'un second prisme, inverse du premier comme indice et comme position, on obtient le même résultat.

La recomposition de la lumière blanche se produit encore avec l'appareil de M. Lavaud de Lestrade que nous décrirons plus loin.

65. **Disque de Newton.** — Lorsqu'on veut démontrer que la lumière blanche est composée de rayons de diverses couleurs, sans être obligé de passer par la dispersion première d'un rayon lumineux, on emploiera l'appareil inventé par Newton et qui a été légèrement modifié pour l'appliquer aux projections. Un disque de verre est divisé en quatre ou six secteurs, subdivisés eux-mêmes en sept secteurs de grandeurs inégales et proportionnelles aux espaces occupés dans le spectre par les divers rayons colorés ; les secteurs sont peints de couleurs convenables et le disque se trouve ainsi recouvert de quatre ou six spectres solaires

contigus. Le disque est d'abord projeté immobile, puis on lui imprime, à l'aide d'une manivelle et d'une corde sans fin, un rapide mouvement de rotation ; par suite du phénomène de la persistance de la vision, dont nous aurons à nous

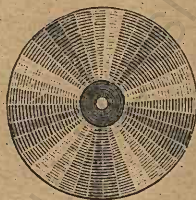


Fig. 44. — Disque de Newton.

occuper au chapitre VII, les diverses couleurs se mêlent au fond de l'œil et le disque paraît aussitôt blanc.

66. **Observations.** — Si l'amateur veut construire lui-même un disque de Newton, il pourra se servir de lames minces de gélatine convenablement découpées et assemblées entre deux verres ; trois couleurs peuvent suffire : bleu, jaune et rouge ; les couleurs intermédiaires seront données par le chevauchement des lames l'une sur l'autre.

Les nuances de couleurs à employer, pour peindre le disque de Newton dépendront de la source lumineuse qui servira à le projeter. Ainsi, pour les lampes à pétrole à la lumière jaune rougeâtre, les violets devront prédominer. Mais, d'une manière générale, à cause de l'absorption des verres, de la difficulté du choix des couleurs, on n'arrive qu'à un résultat approché, mais cependant bien suffisant pour la démonstration.

II. — Couleurs complémentaires

67. **Généralités.** — Pour produire la lumière blanche il n'est pas nécessaire d'avoir recours à l'ensemble de sept couleurs primaires : il a été reconnu, en effet, que deux couleurs convenablement choisies sur l'échelle du spectre donnent par leur mélange de la lumière blanche ; ce principe est surtout vrai pour les faisceaux lumineux colorés ; il n'en est pas de même lorsqu'il s'agit de couleurs pigmentaires.

On retrouve assez facilement les couleurs qui sont complémentaires par la règle mnémotechnique suivante : si on partage un cercle en six secteurs et que dans chacun d'eux on écrive la suite des couleurs simples en supprimant l'indigo, les deux couleurs dont les noms se trouvent dans deux secteurs opposés par le sommet ou, si on préfère, délimités par deux mêmes diamètres sont complémentaires ; on a ainsi trois assemblages principaux qui sont :

jaune,	violet,
bleu,	orange,
rouge,	vert.

Cette règle est suffisamment approchée pour l'usage courant.

Remarquons que les deux ternaires verticaux, ci-dessus, donnent, eux aussi, de la lumière blanche. Le premier : jaune, bleu et rouge, a été préconisé par Brewster et s'applique assez bien aux couleurs pigmentaires ; le second : violet, orange, vert, a été indiqué par Young et Helmholtz et est surtout applicable aux rayons colorés.

68. **Démonstration à l'aide des verres colorés.** — La démonstration de ce phénomène se fait facilement avec une lanterne double dont les deux rayons sont colorés à l'aide de verres de couleurs placés devant le condensateur. On peut aussi se servir de lames de gélatine colorées comprises entre deux verres et de la grandeur des tableaux ordinaires, de manière à pouvoir les passer à l'aide du châssis habituel; les lames seront recouvertes d'une cache en papier noir ayant une forme ronde et d'un diamètre de 3 à 4 centimètres. On projette les deux faisceaux l'un à côté de l'autre, puis on les amène peu à peu à se confondre partiellement; en faisant converger les deux faisceaux. Au point de rencontre, l'écran devient aussitôt blanc. Cette expérience, déjà curieuse avec des rayons rouges et verts, devient plus intéressante avec des rayons jaunes et bleus, habitués que nous sommes à voir les couleurs pigmentaires, jaune et bleu, donner du vert par leur mélange sur la palette du peintre.

On donne à cette expérience une très jolie variante en employant des plaquettes de zinc

perforées en cercles ou en losanges, comme dans les figures ci-dessous.

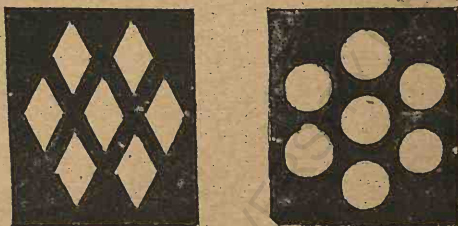


Fig. 45 et 46. — Plaques de zinc perforées.

On colle derrière les ouvertures des lamelles de gélatine diversement colorées en ayant soin d'employer pour la seconde plaque des couleurs complémentaires de celles de la première; en amenant les deux images à se superposer plus ou moins, on produit sur l'écran des combinaisons de couleurs qui peuvent varier à l'infini et servir à de multiples démonstrations.

Si on n'a à sa disposition qu'une lanterne simple, on assemblera côte à côte deux verres colorés ayant chacun les dimensions d'un demi-tableau et on recouvrira les verres d'une cache portant deux ouvertures circulaires, correspon-

dant chacune au centre d'un des verres colorés. La projection donnant deux disques différemment colorés placés côte à côte, pour mélanger les faisceaux il suffit de reprendre l'un d'eux par un miroir convenablement incliné de manière à faire tomber la lumière sur l'autre disque; au point de rencontre l'écran devient blanc.

On peut aussi se servir de l'appareil décrit ci-dessus (disque de Newton) dans lequel le disque portant les sept couleurs sera remplacé par un disque mi-partie d'une couleur, mi-partie de la complémentaire ; en faisant tourner le disque on obtiendra sur l'écran un cercle d'autant plus blanc que les couleurs auront été mieux choisies.

69. **Appareil Lavaud de Lestrade.** — M. Lavaud de Lestrade a combiné un très curieux appareil dans lequel on emploie les rayons spectraux.

Un spectre, formé par les moyens ci-dessus décrits, est reçu sur un miroir A auquel on imprime un rapide mouvement alternatif grâce à une bielle B et un volant D. Lorsque l'appareil est immobile il réfléchit sur l'écran le spectre

habituel; si on tourne la manivelle D le spectre se déplace par un mouvement de balancement et les couleurs se mélangent : la bande irisée est aussitôt transformée en une bande blanche.

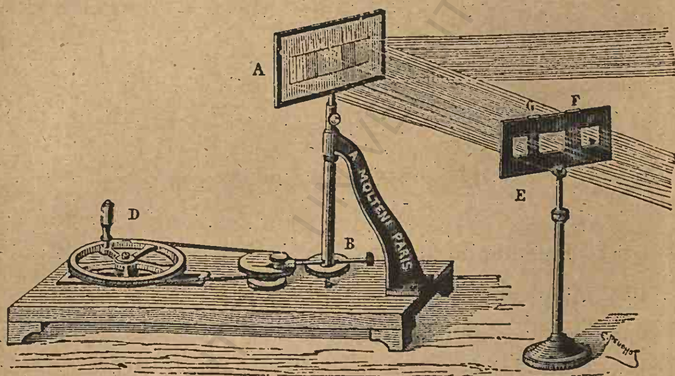


Fig. 47. — Appareil de M. Lavaud de Lestrade.

A l'aide d'un écran E percé d'une fenêtre allongée et de petits volets mobiles G et F on peut intercepter au passage tel ou tel rayon coloré émané du spectre et, en agissant sur la manivelle D, on obtiendra sur l'écran la combinaison des couleurs restantes, ce qui permet de faire varier les combinaisons à l'infini.

70. **Projections stéréoscopiques.** — Une très curieuse application des propriétés des couleurs complémentaires a été proposée par d'Almeida pour obtenir les projections stéréoscopiques ; nous signalons ici cette application pour ordre, nous y reviendrons en détail dans le chapitre suivant.

III. — Etude du spectre

71. **Etendue du spectre.** — Le spectre solaire ne s'étend pas seulement dans la partie visible ; sur l'écran, de chaque côté extérieur du rouge et du violet, on constate la présence de radiations, incapables peut-être d'exciter le nerf optique, mais susceptibles de produire des actions spéciales. La partie infra-rouge est principalement le siège de radiations calorifiques, la partie ultra-violette de radiations chimiques.

72. **Radiations calorifiques.** — Les radiations calorifiques sont mises en évidence à l'aide d'une pile de Melloni reliée à un galvanomètre de pro-

jection dont l'image est projetée au-dessus du spectre. On voit, en promenant lentement cette pile dans la région rouge et au delà, l'aiguille du galvanomètre dévier de plus en plus pour prendre un maximum non loin de la partie visible du rouge, puis elle revient peu à peu au zéro, au fur et à mesure qu'on s'éloigne dans l'espace obscur ; il est ainsi facile de vérifier que les radiations calorifiques s'étendent en dehors du spectre sur une longueur presque égale à celle du spectre lumineux.

73. **Radiations chimiques.** — Les radiations dans l'ultra-violet se mettent en évidence plus particulièrement à l'aide des substances fluorescentes. Si, par exemple, on imprègne une feuille de papier de sulfate de quinine et qu'on le place dans l'ultra-violet, on voit aussitôt la feuille de papier prendre une teinte violacée très visible. On peut constater, comme précédemment, que la région chimique a une étendue presque égale à celle du spectre visible.

74. **Fluorescence.** — Pour étudier d'une façon

complète la fluorescence on place devant le condensateur un verre bleu ou violet ou encore une cuve remplie de sulfate de cuivre ammoniacal (eau céleste) ; on obtient ainsi directement sur l'écran un disque coloré, sur lequel on pré-

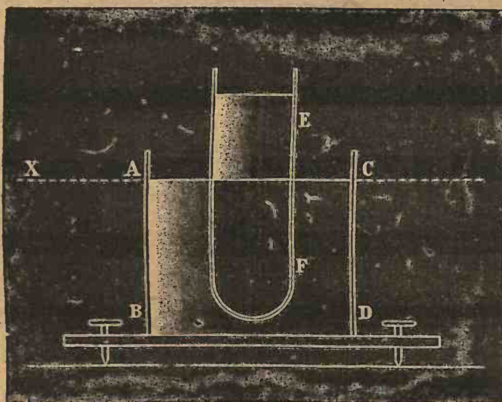


Fig. 48. — Fluorescence du sulfate de quinine.

sente les substances fluorescentes, par exemple un morceau de verre d'urane ou un flacon contenant une solution de sulfate de quinine ; dans ce dernier cas, pour mieux faire ressortir le phénomène on place, à côté du premier flacon, un second rempli d'eau pure. Ces matières fluores-

centes prennent dans la lumière qui leur est propre un éclat remarquable. L'effet est surtout visible sur la tranche extérieure des liquides comme l'indique la figure 48; il est facile de voir que la partie du tube EF plongée dans la cuve AD ne présente plus de fluorescence.

Les principales couleurs fluorescentes sont : dans le rouge la chlorophylle; dans le jaune, la garance alunée; dans le vert, la curcumine, le bois de brésil, le verre d'urane; dans le bleu, la quinine, l'esculine, le pétrole; dans le pourpre, les éosines. On les prépare sous forme de solutions aqueuses ou de teintures alcooliques suivant le cas. Si on a projeté un spectre bien étalé, on présentera dans les diverses parties des flacons contenant les substances ci-dessus et on fera voir qu'elles s'illuminent surtout dans certains rayons.

75. **Les raies spectrales.** — Nous avons dit que si, pour produire le spectre, on emploie une fente extrêmement fine, on s'aperçoit que celui-ci n'est pas composé de teintes continues, mais qu'il est, au contraire, strié d'une infinité

de lignes noires perpendiculaires au grand axe. L'étude de ces raies par Fraüenhofer et, plus tard, par Bunsen et Kirchoff, a amené à la merveilleuse découverte de l'*analyse spectrale*.

On démontre aisément que ces raies noires sont dues à l'absorption par les vapeurs métalliques des radiations de telle ou telle couleur en mettant sur les charbons de la lampe électrique, qui seule peut servir à ces expériences, des sels de différents métaux, plus spécialement des chlorures. Si par exemple on imprègne le charbon positif de chlorure de sodium, il se forme dans la partie jaune du spectre une ligne très brillante jaune. Le potassium donne une raie rouge et une raie violette. L'analyse spectrale a permis à Kirchoff de découvrir des métaux qui ne furent isolés que plus tard ; citons le *rubidium*, qui a reçu ce nom à cause de la magnifique raie rouge qu'il fournit, le *cœsium*, à cause de ses deux raies bleues. Crookes, en 1861, découvrit ainsi le *thallium* qui produit une raie verte très brillante.

La figure 49 nous donne l'aspect pris par le spectre dans ce cas : la première ligne est le

spectre normal avec le rouge sur la gauche; puis viennent successivement avec leurs raies

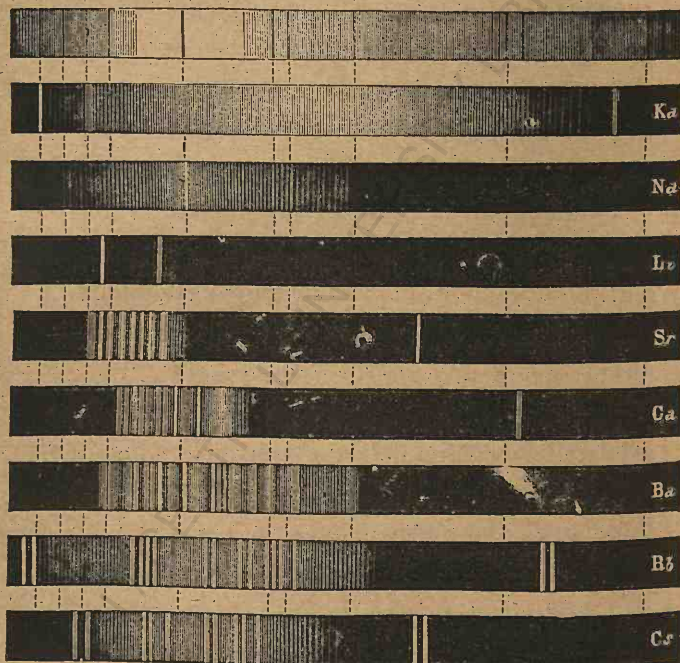


Fig. 49. — Spectre d'absorption.

caractéristiques les spectres des métaux suivants : potassium, sodium, lithium, strontium, calcium, baryum, rubidium, cœsium.

76. **Bandes d'absorption.** — On démontre l'absorption des divers rayons colorés en projetant sur l'écran un spectre, puis en passant derrière la fente des verres de couleur : ceux-ci doivent être peu teintés. On voit aussitôt le spectre présenter des lacunes obscures ou noires. En employant des cuves de section triangulaire, à angle très aigu, remplies de liquides convenables et que l'on fait passer lentement derrière la fente, on démontre que l'absorption est d'autant plus prononcée que l'épaisseur du liquide est plus grande.

Une solution d'alizarine dans le carbonate de potasse donne une bande d'absorption dans le jaune et deux autres dans le rouge et l'orangé. Une solution de permanganate de potasse donne une série de bandes noires dans le vert, mais dans la partie épaisse de la cuve le vert et le jaune sont complètement absorbés. Une solution de chromate de potasse absorbe les rayons plus réfrangibles que le vert, etc.

IV. — Les couleurs

77. **Les couleurs dans la nature.** — On démontre de différentes manières la subjectivité des couleurs de la nature, c'est-à-dire que les couleurs sont propres à la lumière éclairante et non à l'objet lui-même.

Une première méthode très simple consiste à recevoir le spectre solaire sur un écran blanc et à promener sur la surface du spectre des échantillons d'étoffes mates de diverses teintes; tandis que les unes sont avivées par certains rayons, les autres sont annihilées par les mêmes rayons et réciproquement.

78. **Lumière monochrome.** — Mais on rend le phénomène particulièrement évident à l'aide des lumières monochromes, c'est-à-dire n'émettant qu'une seule espèce de radiations. La lumière jaune, parfaitement monochrome, est la plus facile à obtenir et on lui donne un éclat remarquable par le dispositif suivant. On remplace le

crayon de chaux d'un bec oxhydrique par un crayon de charbon de cornue sur la partie supérieure duquel on dépose du sel marin préalablement fondu pour le débarrasser de son eau de cristallisation. Dès que le jet oxhydrique est allumé le sel entre en fusion et vient se décomposer dans le foyer de chaleur où il brûle avec un magnifique éclat. Si on a eu soin d'éteindre toute autre lumière, l'espace n'est plus éclairé que par la lumière jaune et les objets changent aussitôt d'aspect. Les figures humaines prennent des teintes livides, les tons rouges deviennent d'un noir absolu, les bleus acquièrent une tonalité gris lavande.

Cette expérience se fait aussi, mais sans avoir cependant la même puissance, en brûlant de l'alcool saturé de sel marin.

En plaçant devant la bonnette de l'objectif des plaques de gélatine ou, mieux, des cuves remplies de liquides convenablement colorés, on peut produire une série de lumières monochromes et opérer ainsi, en quelque sorte, le triage des couleurs des objets naturels.

79. **Projections polychromes.** — Une application très curieuse du mélange des couleurs a été indiquée par Cros et Ducos du Hauron dès 1867 et reprise dernièrement par Ives, en Amérique, et L. Vidal, en France. Trois négatifs sont exécutés sur plaques isochromatiques convenables en triant les couleurs à l'aide d'écrans colorés, de telle sorte que l'une des plaques porte l'impression seule des parties orangées du modèle, l'autre des parties vertes, la dernière des parties violettes. On tire de ces trois négatifs trois positifs d'intensités convenables et on les projette simultanément à l'aide d'une lanterne à trois corps, en ayant soin d'interposer entre la vue et le condensateur un verre de couleur convenablement choisi. Les trois positifs noirs donnent sur l'écran une projection colorée ayant les teintes mêmes de la nature ; les combinaisons de couleurs du ternaire — orange, violet, vert — fournissent en effet les multiples teintes du spectre.

Il est assez curieux de démontrer que ce ternaire est absolument vrai ; en remplaçant en effet les trois verres colorés par d'autres

teintés d'après le ternaire de Brewster — rouge, jaune, bleu — l'aspect de la projection est totalement changé et les couleurs deviennent aussitôt fausses.

V. — La polarisation

80. **La polarisation.** — Vers 1808, Malus découvrit que, lorsqu'un rayon s'est réfléchi sous une certaine incidence sur un verre poli et qu'on l'examine à travers un prisme de spath, le rayon a subi une modification profonde qu'on appela *polarisation*. Le phénomène fut étudié par Biot, Brewster et Arago : ce dernier découvrit que, si on observe, à travers un nicol [1], une lame mince illuminée par un faisceau de lumière polarisée, cette lame revêt de magnifiques couleurs qui changent et s'inversent lorsqu'on fait tourner le prisme sur son grand axe, de manière à changer son orientation.

Sans entrer dans de plus amples détails au

[1] On nomme nicol un prisme double de spath ; cette association de prisme a été appelée du nom de son inventeur.

sujet de la théorie du phénomène, nous indiquerons la méthode de projection.

81. **Polariscope de projection.** — On a donné de nombreuses formes au polariscope de projection, la polarisation de la lumière pouvant s'effectuer de diverses manières : réflexion sur glace noire, sur piles de glaces minces, passage au travers de cristaux de spath, etc.

La forme la plus commode et la plus ordinaire est celle qui est figurée ci-dessous (*fig.* 50).

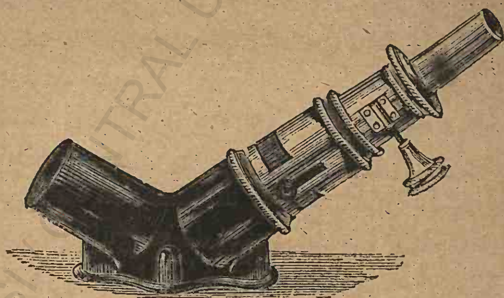


Fig. 50. — Polariscope de projection.

Le polariscope se compose essentiellement d'un tube qui vient coiffer le condensateur ; le faisceau émis par ce dernier tombe, sous un

angle de 35°,25 [1], sur une pile de glaces minces disposées dans le socle ; le rayon réfléchi e

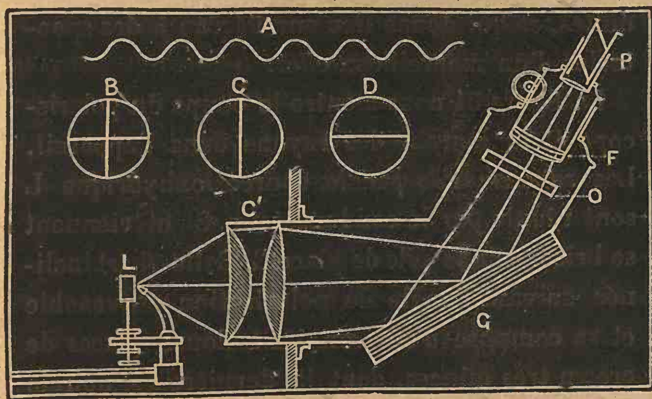


Fig. 51. — Coupe du polariscope.

polarisé passe dans un second tube qui contient un porte-objet à ressort sur lequel on place la substance à étudier. Le rayon modifié traverse un objectif destiné à l'agrandissement et un nicol qui servira à analyser la lumière transmise. Le nicol peut tourner autour de son axe et, à cet

[1] C'est là l'angle de polarisation du verre ; chaque substance présente, en effet, un angle déterminé d'incidence pour polariser le rayon réfléchi.

effet, le tube qui le supporte est muni d'une embase molletée[1]; en faisant varier l'orientation du nicol on fait changer les colorations produites, ce qui donne lieu sur l'écran à des spectacles d'un merveilleux effet.

La figure 51 nous montre la coupe du polariscope et la marche des rayons dans l'appareil. Les rayons émis par la source oxhydrique L sont réunis par le condensateur C′ et viennent se briser sur la pile de glace C. Celle-ci est inclinée suivant l'angle de polarisation convenable et se compose d'environ dix à douze glaces de crown très minces, dont la dernière est noircie pour absorber les rayons non polarisés. A la suite de leur réflexion les rayons rencontrent l'objet à analyser glissé dans la fente O, et l'image est reprise par l'objectif F qui la condense sur le nicol P, au sortir duquel le faisceau s'épanouit pour former sur l'écran la projection du phénomène.

Pour bien réussir ces expériences et leur donner de l'éclat il ne faut pas exagérer les dimen-

[1] Une graduation sur l'embase du tube sert aussi à mesurer l'angle de rotation.

sions de la projection, il sera de beaucoup préférable de ne pas dépasser 80 centimètres à 1 mètre de diamètre.

Lorsqu'on veut se rendre compte de l'effet produit par les divers sujets à analyser, il est possible de le faire sans être obligé de préparer la lanterne de projection ; on emploiera le dispositif indiqué par la figure suivante.

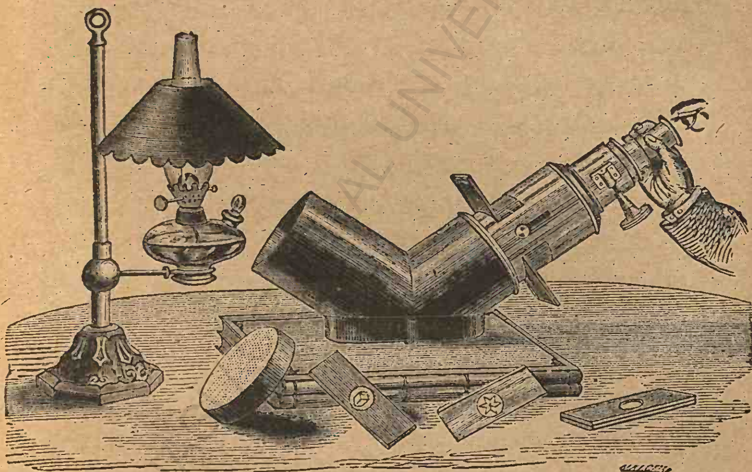


Fig. 52. — Examen des préparations.

On dispose sur une table le polariscope, en l'appuyant sur la base formée par la pile de

glace, et on dispose en avant une bonne lampe, après avoir eu soin d'enlever le condensateur ; il est alors facile d'examiner les diverses préparations et de voir les changements produits par la rotation du nicol.

82. **Cristaux à un axe.** — Les objets à projeter avec le polariscope sont très nombreux et donnent lieu aux spectacles les plus variés, non seulement par suite des merveilleuses couleurs que revêtent les objets, mais surtout par les changements de couleurs qu'ils subissent lorsqu'on fait tourner le nicol.

Toutes les substances biréfringentes, telles que le cristal de roche, spath, mica, taillées en lames minces, jouissent de la propriété de colorer la lumière polarisée qui la traverse.

L'épaisseur de la lame a une grande influence sur les couleurs des images ; si on prend une lame de gypse creusée en son centre en forme de calotte sphérique à grand rayon et qu'on la mette dans le polariscope, la projection donnera une image ayant l'aspect de la figure 53 : une série d'anneaux brillants, irisés, traversés par une croix

noire ; si on fait tourner alors le nicol d'un quart de tour, l'image se modifiera peu à peu et s'inversera pour prendre l'aspect de la figure 54 ; la

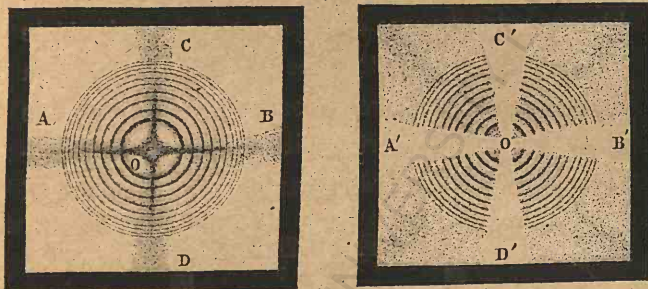


Fig. 53 et 54. — Lame de gypse dans la lumière polarisée.

croix noire ABCD deviendra blanche, les coins de l'image se teinteront de noir et les couleurs se distribueront de manière à être complémentaires des premières ; en continuant à faire tourner le nicol, l'aspect de l'image changera continuellement de manière à passer à chaque quart de tour alternativement par l'une ou l'autre des formes figurées ci-dessus.

Ces apparences curieuses se produiront non seulement avec les lames minces de cristaux biréfringents tels que ceux que nous avons énu-

mérés plus haut, mais encore avec des cristaux de certains sels tels que le chromate de potasse, l'iodure de cadmium, le prussiate jaune de potasse, etc., et qu'on nomme cristaux à un axe. L'aspect des figures changera encore suivant le plan de la coupe faite dans le cristal : ainsi la figure 55 nous montre la rosace produite par une lame mince de quartz taillée perpendiculairement à l'axe du cristal ; quand les axes du nicol

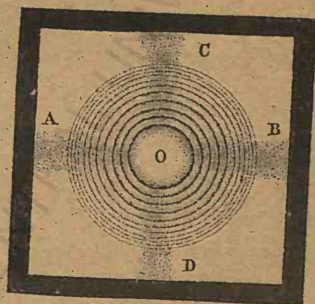


Fig. 55. — Quartz perpendiculaire — axes croisés.

et du polariseur sont croisés on obtient la figure ci-dessus : le centre O est coloré en rouge, autour s'étendent des anneaux violets et orangés brisés par une sorte de croix noire indécise ; si on fait tourner le nicol tout le fond s'assombrit

et on n'aperçoit plus sur l'écran qu'une croix blanche dont les intervalles des bras sont striés par des éléments d'anneaux. Le passage d'une figure à l'autre se fait insensiblement en prenant les aspects les plus curieux.

83. **Figures gravées sur gypse.** — La modification de la lumière dépendant essentiellement de l'épaisseur des lames, on a été amené à graver des figures sur des lamelles de gypse ou de mica, collées au baume de Canada sur une lame de verre, pour leur donner la consistance nécessaire à leur maniement. Les lames de gypse se composent de très minces feuillets accolés les uns aux autres, il suffit de dessiner à la surface de la lame le sujet choisi, puis avec un canif ou, mieux, une petite échoppe de cerner les parties qu'on veut colorer de telle ou telle teinte et d'enlever les feuillets ainsi découpés ; aux grandes épaisseurs correspondent les teintes rouges ; aux plus minces, les teintes violettes. Du reste pour l'exécution de ce travail on examine de temps en temps l'objet gravé dans le polariscope. On grave ainsi des papillons, des fleurs,

des fruits ; examinée dans la lumière ordinaire l'image est à peine indiquée par quelques linéaments incolores, mais dans la lumière polarisée le dessin apparaît revêtu des plus brillantes couleurs, qui s'inversent lorsqu'on fait tourner l'analyseur. Un graveur habile arrive de cette manière à obtenir des images revêtues des tons les plus délicats produisant à la projection de merveilleux spectacles.

84. **Cristaux à deux axes.** — C'est en 1813 que Brewster découvrit les phénomènes que nous

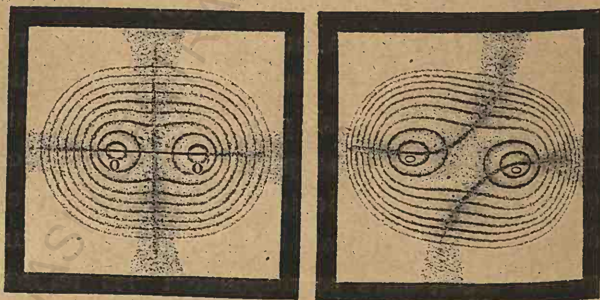


Fig. 56 et 57. — Cristaux à deux axes.

venons de décrire ; en continuant ses recherches, il arriva à distinguer deux classes : les cristaux

à un axe donnant les apparences que nous avons signalées, et les cristaux à deux axes donnant un système de deux séries d'anneaux enchevêtrés l'un dans l'autre.

Les figures 56 et 57 nous donnent les principaux aspects, pris suivant deux orientations de l'analyseur. Ces figures sont fournies par une lame mince de nitre (azotate de potasse). Parmi les cristaux à deux axes qui, réduits en lames minces, donnent lieu à de telles projections, nous citerons : l'aragonite, le borax, la topaze, le gypse, la strontiane sulfatée, le nitre, etc.

85. **Cristaux assemblés.** — Si, au lieu d'une seule lame mince d'un cristal, on assemble deux lames taillées dans le même cristal, mais disposées de manière que les axes soient croisés, on obtient alors une autre figure typique qui nous est présentée par la figure 58.

Deux lames de quartz taillées parallèlement à l'axe ont été assemblées de manière à mettre leurs axes en croix ; on obtient alors une sorte de croix noire entre les branches de laquelle sont dessinées des hyperboles dont les sommets sont

teintés en rouge, et les branches se colorent en un bleu tendre.

La rotation de l'analyseur fait changer ces teintes d'une façon continue. Si on fait tourner une des lames de manière à ce que l'axe prenne la direction indiquée dans la figure, l'aspect de l'image se modifie en donnant lieu à la formation de nouvelles courbes du plus curieux effet [1].

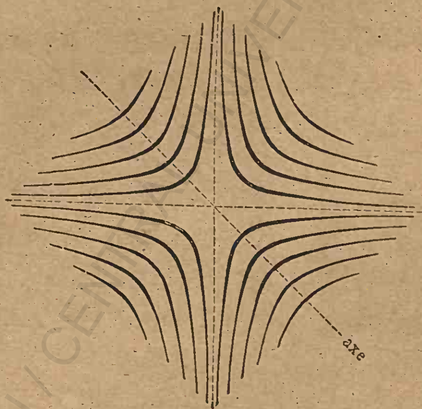


Fig. 58. — Deux quartz à axes croisés.

Ces franges colorées sont peu lumineuses, mais on les met en évidence d'une façon très appa-

[1] Ces expériences sont dues à Delezenne.

rente en se servant de lumière monochrome ; on place devant le condensateur une lame de verre rouge ou jaune et les franges prennent une teinte noire très accentuée.

86. **Verre trempé.** — Le verre trempé donne lieu aussi à la production de magnifiques effets de coloration et la forme des rosaces produites

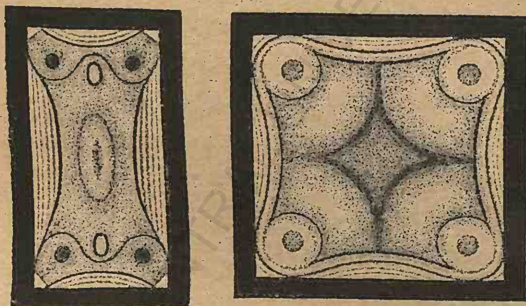


Fig. 59 et 60. — Verre trempé.

sur l'écran dépend de la forme initiale des morceaux de verre trempé ; on emploie des carrés, des triangles, des disques, qui donnent lieu chacun à une répartition particulière de la couleur et des espaces obscurs, la rotation de

l'analyseur les faisant varier d'une façon continue. Cette expérience est due à Seebeck (1815).

Les figures 59 et 60 indiquent les images produites par un verre trempé rectangulaire et par un verre carré.

La compression même du verre suffit à produire ces curieux phénomènes ; si on place en effet un carré de verre dans un compresseur particulier, qui se compose essentiellement d'un cadre d'acier dont un des côtés est mobile et pressé par une vis à filets fins ; en comprimant le verre entre ce côté mobile et le côté opposé, on voit peu à peu sur l'écran se former des rosaces dont la complication croît avec la force de la pression.

Il en est de même de la chaleur qui modifie les rayons colorés : il suffit pour le démontrer de chauffer un des côtés d'une plaque un peu épaisse de cristal.

Nous avons insisté sur ces phénomènes de polarisation parce qu'ils donnent lieu à de magiques spectacles, dont les figures ci-dessus ne peuvent donner qu'une faible idée ; la délicatesse des colorations, leurs changements graduels

avec la rotation de l'analyseur excitent toujours à juste raison l'étonnement et l'admiration des spectateurs.

VI. — Les lames minces

87. **Théorie générale.** — Au cours de ses études sur la lumière Newton avait découvert que des lames minces d'air comprises entre deux plaques de verre et examinées à la lumière réfléchie revêtaient des colorations typiques. On reproduit cette expérience de la façon suivante : sur une lame de verre noir, on applique une lentille à très grand rayon, qu'on peut serrer sur le verre noir à l'aide d'une monture à vis ; si on projette par réflexion un tel assemblage, il se produit sur l'écran une série d'anneaux colorés, dont les teintes varient du rouge au violet, suivant qu'on comprime davantage les deux verres, et qu'on diminue, par suite, l'épaisseur de la couche d'air emprisonnée entre elles.

On peut aussi se servir, pour montrer le phénomène, des lames très minces obtenues à l'aide

BOSTON UNIVERSITY LIBRARY

d'eau de savon, celles-ci se colorent toujours d'une même série de teintes qui dépend de l'épaisseur de la lame; d'abord rouges elles passent à un vert éclatant, puis au jaune, enfin au bleu; en ce moment on aperçoit des espaces noirs, avant-coureurs de la destruction de la lame qui ne tarde pas à éclater.



Fig. 61. — Les anneaux colorés.

Cette expérience se reproduit très facilement en projections, nous l'étudierons avec quelques détails.

88. **L'eau de savon.** — Le meilleur mélange pour préparer des lames de savon ayant une cer-

taine durée a été indiqué par Plateau[1] : il comprend de l'oléate de soude, de la glycérine et de l'eau. Le liquide doit être très clair et récemment filtré, et, comme il se trouble spontanément assez vite, il est préférable de préparer séparément dans des bouteilles les trois composants :

1° Une solution saturée d'oléate de soude dans l'eau distillée, neutralisée et filtrée ;

2° De l'eau distillée ;

3° De la glycérine pure.

On fait le mélange au moment de s'en servir en variant les doses suivant les résultats cherchés.

Si on veut une grande viscosité, on prendra un volume d'oléate, 1 de glycérine et 2 volumes d'eau. Une grande viscosité donne des lames plus durables, mais les phénomènes sont moins nettement perçus.

Le meilleur mélange comprend 4 volumes d'oléate, 1 de glycérine, 16 d'eau.

89. **Productions des lames minces.** — Pour les lames minces on se sert d'un anneau de 5 à

[1] La solution de Plateau se compose de 1 partie d'oléate de soude, 40 parties d'eau et 30 parties de bonne glycérine.

8 centimètres de diamètre en fil de fer étamé et muni sur le côté d'un appendice destiné à le manœuvrer ; on paraffine avec soin l'anneau pour qu'il prenne plus facilement l'eau de savon. Il suffit de tremper l'anneau à la surface du liquide savonneux pour en retirer une lame mince qui sera aussitôt mise dans un mégascope ; si on n'a pas un tel appareil on le constitue rapidement en faisant tomber le faisceau à 45° sur la lame mince et en disposant en face une lentille achromatisée qui projettera l'image sur l'écran. On verra successivement apparaître des bandes colorées qui sembleront s'élever, mais qui en réalité sont produites par la tombée du liquide ; puis la tache noire se formera et la lame éclatera. La chaleur du faisceau amène facilement la rupture des lames, aussi est-il bon d'interposer entre le condensateur et la lame une cuve d'alun.

En soufflant très légèrement avec un tube effilé sur la lame, de manière à l'atteindre tangentiellement, on déterminera des tourbillons affectant des formes étranges.

90. **Bulles de savon.** — En se servant d'un anneau comme celui qui a été décrit ci-dessus, mais disposé horizontalement, on pourra montrer les merveilleux spectacles produits par les bulles de savon. Celles-ci seront soufflées à l'aide d'un chalumeau de paille dont on aura fendu le chaume à l'extrémité par deux entailles à angle droit et rabattu horizontalement les sections en forme de croix : on constitue ainsi le meilleur chalumeau. La bulle soufflée avec précaution est posée doucement sur l'anneau : elle se pare peu à peu, par l'amincissement de ses parois, d'une série de splendides colorations.

91. **Bandes d'absorption.** — Les lames minces et les bulles de savon produisant sur l'écran des effets de décomposition de la lumière, on peut s'en servir pour montrer le phénomène des bandes d'absorption. Il suffira de placer devant le condensateur un verre de couleur, on verra aussitôt se former des bandes sombres ou même noires dans les parties qui étaient colorées de la teinte complémentaire du verre de couleur.

92. **Irisations.** — Nous rapprocherons de ces expériences les curieuses projections données par les surfaces irisées, nacre, plumes de paon, etc., qui seront projetées par le mégascope ou le dispositif ci-dessus.

Les métaux en s'oxydant se couvrent de lames minces d'oxyde, qui revêtent des couleurs changeant avec leurs épaisseurs; si on chauffe une plaque d'acier poli et qu'après l'avoir frottée avec de la paraffine on l'essuie vivement, on verra apparaître des anneaux colorés ; on obtiendra encore le même résultat en déposant à la surface d'une cuve remplie d'eau une petite goutte d'essence de térébenthine : celle-ci s'étalera aussitôt en une mince couche aux vives couleurs ; dans ce cas on fera arriver le faisceau sur la lame à l'aide d'un miroir incliné et l'image reprise par une lentille sera renvoyée sur l'écran par un second miroir.

93. **Théorie de l'arc-en-ciel.** — Comme application des divers principes précédents nous signalerons ici une intéressante expérience qui permet de donner la théorie de l'arc-en-ciel.

En avant du condensateur, on dispose une grande feuille de bristol blanc percé d'une ouverture centrale et, plus loin, sur le trajet du faisceau lumineux, on place une petite boule de

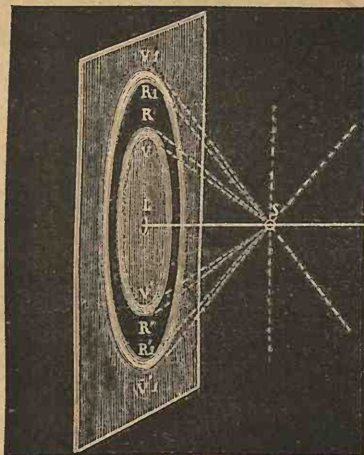


Fig. 62.

verre S remplie d'eau pure; un petit ballon de chimie de 4 à 5 centimètres de rayon conviendra parfaitement; la lumière se brise sur la boule de verre et se réfléchit sur le bristol en donnant une auréole colorée, qui n'est autre qu'un arc-

en-ciel complet; souvent, comme dans la figure 62, il est double : on a un premier arc ayant le violet à l'extérieur et un second renversé, c'est-à-dire avec le violet à l'intérieur. L'expérience est des plus intéressantes. Il est bon, pour lui donner toute sa vigueur, de masquer la boule de verre du côté des spectateurs par un petit écran, pour éviter les rayons transmis qui nuiraient à la pureté de l'expérience.

Le trou percé dans la feuille de bristol doit avoir un diamètre à peu près égal à celui de la boule ; et l'expérience réussit d'autant mieux que les rayons issus de la lanterne sont parallèles. Le ballon ne doit pas être disposé à une distance plus grande que le demi-côté de l'écran de bristol sinon les anneaux se formeraient en dehors de la surface blanche.





CHAPITRE VII

PHÉNOMÈNES DE LA VISION

Sommaire : La vision. — I. Persistance de la vision. — Disque de démonstration. — Durée de la vision. — L'eidotrope. — Expériences diverses. — Rapidité de l'impression rétinienne. — Stroboscope de projection. — Les phénakisticopes. — Le choreutoscope. — II. La vision des couleurs. — Emoussement de la vision colorée. — Complémentaires consécutives. — Coloration par contraste. — III. La vision en relief. — Projections stéréoscopiques. — IV. Erreurs de la vision.

94. **La vision.** — Après avoir montré comment il était possible d'étudier les phénomènes de la lumière hors de nous, il est curieux de rechercher comme elle agit sur l'organe de la vision. A l'aide de photographies diverses, coupes, schémas, etc., il sera facile de montrer à l'auditoire quelles sont les diverses parties qui composent l'œil[1] et, par une suite d'expériences que nous allons décrire, on démontrera les erreurs systé-

[1] La figure 63 donne une coupe schématique de l'œil, nous ne nous attarderons pas à décrire cet organe ; on trouvera ces renseignements dans les livres spéciaux.

matiques dont est affecté l'organe de la vue; la persistance de la vision, l'affaiblissement passager de la sensation des couleurs, enfin le mécanisme de la vision binoculaire, qui nous permet de nous rendre compte du relief des objets.

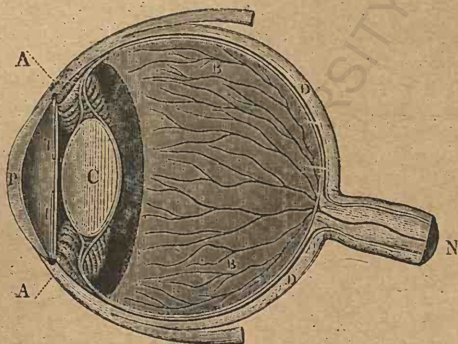


Fig. 63. — Coupe de l'œil.
AA la sclérotique. — P la cornée. — II l'iris. — C le cristallin.
DD la choroïde. — N le nerf optique.

Nous allons successivement étudier ces divers points.

I. — Persistances de la vision

95. **Durée de la vision.** — L'impression de la lumière sur notre œil persiste un temps défini,

très court, il est vrai, mais cependant d'une durée telle que, si deux ou plusieurs phénomènes lumineux se succèdent avec une rapidité plus grande que la persistance de la vision, l'œil saisit à la fois les divers phénomènes et, les voyant presque simultanément, juge, à faux, qu'ils se passent en même temps et qu'ils font en quelque sorte partie intégrante d'un tout unique. C'est ainsi que la fusée volante ou un point lumineux qui traversent les airs nous donnent la sensation d'une ligne matérielle existante, alors qu'elle n'est que la résultante des diverses impressions se succédant avec une rapidité plus grande que l'effacement des images successives.

Inversement, si le déplacement d'un point dans l'espace se fait avec une rapidité plus grande que la durée nécessaire à l'impression lumineuse, le phénomène échappe à notre vue. Si nous considérons en effet les rayons de la roue d'une voiture passant avec rapidité devant nous, nous ne pourrons avoir connaissance des rayons de la roue et ceux-ci seront d'autant moins perçus que les vitesses de déplacement et de rotation de la roue seront plus grandes.

96. **Disques de démonstration.** — Ces diverses erreurs de la vision se démontrent à l'aide d'un appareil très simple, le *pseudoptoscope*. Il consiste essentiellement en une monture en bois portant une ouverture ronde; suivant un diamètre est disposée une mince tige de métal, qui sert à supporter un arbre muni d'une petite poulie, reliée par une corde sans fin à une plus grande poulie latérale, à manivelle. On peut

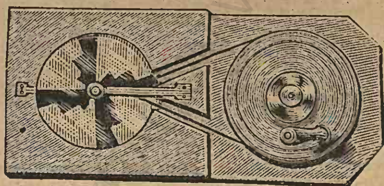


Fig. 64. — Pseudoptoscope Molteni.

ainsi imprimer à l'arbre un mouvement de rotation plus ou moins rapide ; on monte sur l'arbre une série de disques de verre convenablement peints qui permettent de faire une suite d'expériences que nous allons énumérer.

97. **Persistance de la vision.** — Sur l'appareil on monte un disque recouvert d'une feuille de

papier noir dans laquelle on a pratiqué deux ou trois petits trous colorés, au besoin, à l'aide de feuilles minces de gélatine teinte. Lorsque le disque est mis en mouvement très lent on reconnaît facilement que les points se déplacent; mais, si la vitesse augmente, on ne voit plus que trois cercles qui paraissent immobiles dans l'espace.

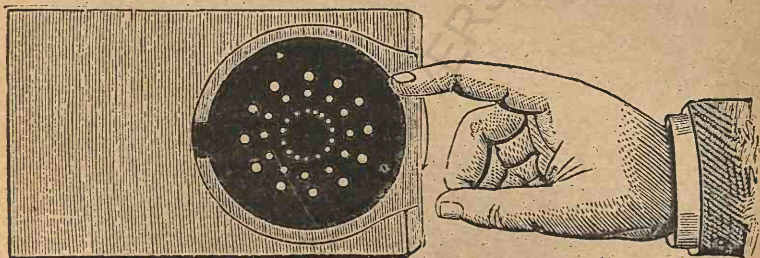


Fig. 65. — Eidotrope de Wheatstone.

98. **L'eidotrope.** — Wheatstone a donné une forme très curieuse à cette expérience et il a indiqué, sous le nom d'*eidotrope*, l'appareil suivant.

Dans une monture en bois est pratiquée une ouverture circulaire, en arrière de laquelle est placé un disque de métal noirci percé d'un grand nombre de petits trous. Ce disque peut tourner

sur un axe monté sur un ressort en spirale de telle sorte que, lorsqu'on imprime au disque un mouvement de rotation en donnant un coup de doigt sur la circonférence, le ressort se met à vibrer et la résultante des deux mouvements — rotation et vibration — fait naître sur l'écran des séries de cercles qui se croisent et se recroisent dans tous les sens possibles, donnant lieu à une série de courbes continuellement changeantes du plus curieux effet.

99. **Expériences diverses.** — Le pseudoptoscope se prête à la démonstration de nombreuses expériences du même genre : le mélange des couleurs deux à deux, trois à trois ; la formation des nuances, etc.

1° *Nuances.* — Sur un disque de verre blanc est peinte une étoile à six ou huit branches ; les espaces angulaires compris entre les branches sont recouverts d'une couleur différente ; lorsqu'on met en mouvement cette étoile, du centre à la circonférence, les proportions de mélange des deux couleurs s'inversent et on obtient une teinte chatoyante dont les deux bords extrêmes

ont la teinte propre de chacune des couleurs primaires, et l'espace compris entre les deux bords prend toutes les tonalités qui peuvent résulter du mélange de ces couleurs en proportions diverses.

Si les deux couleurs sont complémentaires, il se formera une zone blanche dans les parties où les deux teintes se mélangeront en parties convenables pour donner du blanc.

2° *Couleurs rabattues.* — M. Chevreul, dans sa magistrale étude sur les couleurs, a appelé *couleurs rabattues* celles dont les nuances sont plus ou moins assombries par du noir. On montre la série du noir au blanc à l'aide de l'appareil ci-dessus dans lequel l'étoile, constituée par du papier à aiguille, se détache en noir sur le fond transparent du verre. On obtient la série des nuances rabattues dans une teinte en se servant d'un disque de verre coloré sur lequel a été collée l'étoile de papier noir.

3° *Couleurs éclaircies.* — M. Chevreul, inversement, a appelé *couleurs éclaircies* celles dont les nuances sont plus ou moins adoucies par leur mélange avec la lumière blanche : la série

des teintes éclaircies sera donnée par un disque de verre blanc sur lequel est collée une étoile en gélatine colorée.

4° *Nuances diverses.* — Enfin les diverses nuances qui peuvent être produites par le mélange de deux ou plusieurs couleurs en proportions définies s'obtiendront avec des disques portant des secteurs de couleurs diverses dont les aires sont proportionnelles aux quantités voulues. C'est là une variante de l'expérience de Maxwell.

Le pseudoptoscope permet, comme on le voit, de multiplier à l'infini les expériences, la production du phénomène étant toujours basée sur la durée de l'impression rétinienne; les couleurs se mélangent par suite de la superposition des impressions.

100. **Rapidité de l'impression rétinienne.** — Il est, d'autre part, intéressant de démontrer que l'impression sur la rétine est extrêmement rapide et que, si certains phénomènes nous échappent par suite de leur vitesse, cela tient surtout à la confusion produite par la multiplicité des images perçues en un très court instant. Plaçons, en

effet, sur l'axe du pseudoptoscope un disque de verre transparent portant une croix noire tracée suivant deux diamètres; en mettant l'appareil en marche, on voit la croix disparaître, et le disque prend une coloration grise se rapprochant de plus en plus du blanc, du centre à la périphérie, à cause des inégalités de vitesse des divers points du disque.

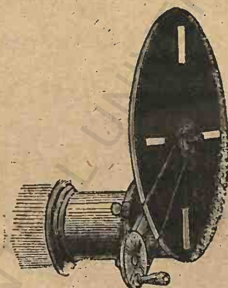


Fig. 66. — Stroboscope de projection Molteni.

On démontrera que cet effet est dû à la superposition rapide des images sur la rétine en supprimant une certaine quantité de ces images, et dans ce but on emploiera la roue stroboscopique de Stampfer, que M. Molteni a modifiée pour l'appliquer aux projections.

101. **Stroboscope de projection.** — Une monture en cuivre, se fixant sur la bonnette de l'objectif, supporte un disque de carton noirci percé d'un certain nombre de fenêtres, qui viennent successivement passer devant l'objectif, grâce à une corde sans fin manœuvrée par une poulie à manivelle.

Lorsque ce disque est mis en mouvement le faisceau lumineux est obstrué à intervalles réguliers; or on peut régler la vitesse du disque stroboscopique de manière à ce qu'elle soit égale à celle du disque du pseudotoscope.

Dans ce cas on apercevra une seule et unique croix immobile. Si la vitesse est inférieure dans un rapport donné, on verra deux, trois, quatre croix superposées ; si les deux disques tournent dans le même sens et que le rapport des vitesses ne soit pas très exact, on verra une série de rayons se déplaçant d'un lent mouvement dans le sens général de rotation ; si les deux disques tournent en sens inverse, on aura soit un mouvement rétrograde, soit une sorte de balancement rythmé.

De cette expérience, il résulte que la multipli-

cité des images est une cause de confusion pour la vue, que la rapidité d'impression est grande, mais qu'il est utile, pour que nous ayons une perception bien nette des objets, qu'elle ait une certaine durée, car, dans l'expérience précédente, le rôle de la roue stroboscopique a été surtout de trier les images et de les forcer à se former, en quelque sorte, d'une façon continue en des points déterminés de la rétine.

Une variante assez intéressante de cette expérience consiste à employer un disque sur lequel est peinte une rosace de diverses couleurs. Lorsque le stroboscope est immobile, la rosace en tournant donne une teinte neutre ; dès que l'appareil est mis en mouvement la rosace réapparaît avec la série d'alternances que nous avons indiquées plus haut.

102. **Les phénakisticopes.** — C'est en se basant sur cette lenteur de l'effacement de l'impression rétinienne que Plateau a été conduit à créer le *phénakisticope* [1], auquel les constructeurs ont

[1] Voir les *Tableaux de projections mouvementés* (Gauthier-Villars et fils), dans lesquels nous avons traité à fond la question des phénakisticopes.

donné diverses formes, et dont le but est de créer l'illusion du mouvement, à l'aide d'une série d'images représentant les diverses phases d'une même action. Il n'est pas utile que cette série d'images contienne toutes les phases de l'action ; il suffit qu'elle donne les principales, et, si elles se succèdent régulièrement à intervalles rapprochés, dans leur ordre naturel, le raisonnement instinctif de l'observateur complète la série, et l'illusion du mouvement est produite ; mais il est à noter que la perception ne sera réellement nette que si on a eu soin d'effacer en quelque sorte l'image précédente avant de voir l'image suivante : cet effacement se produira lorsque, entre deux images successives, toute lumière aura été supprimée pendant un court instant. Divers modèles ont été créés pour produire l'illusion du mouvement en projection : le plus simple a été construit en Angleterre sous le nom de roue de vie, « wheel of life ». Il se compose de deux disques, l'un en carton léger percé d'une fenêtre étroite, l'autre en verre, portant sur sa circonférence les diverses images. Ces deux disques, montés sur un même arbre, tournent en sens

inverse l'un de l'autre, à l'aide de cordes sans fin manœuvrées par une poulie à manivelle ;

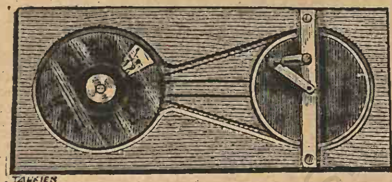


Fig. 67. — Phénakisticope de projection.

leurs vitesses, convenablement calculées, sont différentes. Il se produit sur l'écran une série d'images disposées en couronne, exécutant successivement une même action ; au besoin, à l'aide d'un écran percé d'une fenêtre, on isole un seul des sujets.

103. **Le choreutoscope tournant.** — Une autre forme donnant des résultats bien supérieurs a été donnée à l'appareil, qui a pris le nom de *choreutoscope :* sur un disque, en verre ou en mica, est peint, sur fond noir, un sujet en six poses différentes ; ce disque est monté dans un cadre en bois, percé d'une fenêtre ronde ne pou-

vant encadrer qu'un seul des sujets; il tourne follement sur un axe et porte une croix de Malte à six échancrures, qui engrène avec une petite roue portant une seule dent. Celle-ci est mise en mouvement par une poulie à manivelle et une corde sans fin et elle est munie d'un secteur en carton noir. Lorsqu'on agit sur la manivelle, la poulie en tournant entraîne le secteur qui vient passer devant la fenêtre et l'obture. En ce moment, la dent engrène avec la croix de Malte et lui fait faire un sixième de tour, ce qui change le sujet. Celui-ci reste immobile, tandis que le secteur, continuant sa course, découvre le sujet,

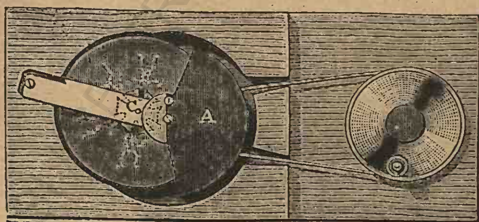


Fig. 68. — Choreutoscope tournant.

puis vient le recouvrir pendant que la pose suivante est amenée devant la fenêtre. Ainsi, grâce

à ce mécanisme, le changement des images est produit pendant l'obturation : celles-ci se forment toujours au même point de l'écran, elles ont une durée suffisante pour donner à la projection un grand éclat et permettre à l'œil d'en saisir tous les détails ; il en résulte une illusion très complète du mouvement.

104. **Chromatropes.** — Il existe encore de nombreuses expériences basées sur la persistance de la vision. Nous aurons dans le cours de cet ouvrage à en décrire de nombreuses ; nous citerons cependant ici les *chromatropes* qui produisent en projections de forts jolis effets. Ils se com-

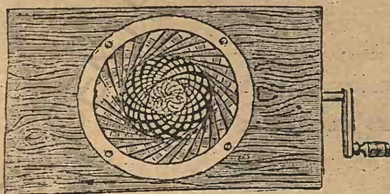


Fig. 69. — Chromatrope.

posent essentiellement de deux disques en verre, peints de la même façon, mais montés symétriquement, de telle sorte que les lignes dont ils

se composent se recroisent. Un pignon, mû par une manivelle latérale, met les deux disques en rotation inverse ; il en résulte une sorte de mouvement tout à fait spécial, qui donne l'illusion, soit d'une boule grossissante, soit d'une boule rentrante, suivant le sens de la rotation. On obtient ainsi des effets très variés.

II. — La vision des couleurs

105. **La vision colorée.** — Il paraît démontré, par les travaux des physiciens et des physiologistes, que le siège de la sensation des couleurs est constitué, au fond de l'œil, par une série de petites ramifications nerveuses, dont les extrémités placées côte à côte forment une sorte de mosaïque serrée. On a distingué jusqu'à présent deux sortes de fibrilles, les *cônes* et les *bâtonnets*, et il paraît prouvé que les cônes particulièrement sont sensibles à l'action de la seule lumière rouge ; les bâtonnets seraient sensibles les uns à la lumière verte, les autres à la lumière

violette, sans qu'on ait pu encore distinguer deux genres de bâtonnets spéciaux.

Il est à remarquer que cette sensibilité au ternaire d'Helmholtz suffit pour expliquer la vision de toutes les couleurs pour un œil bien conformé et la non-perception de certaines couleurs par les *daltoniens*. Quoi qu'il en soit, on démontre la probabilité de cette hypothèse à l'aide de certaines expériences que nous allons décrire.

106. **Émoussement de la vision colorée.** — Il est d'abord intéressant de constater que la sensation prolongée d'un rayon coloré émousse en quelque sorte la sensibilité des nerfs de la vision. On le démontre de la façon suivante : sur un verre de couleur rouge, de préférence, on colle une cache à ouverture ronde et on insère le verre dans une monture en bois ; dans celle-ci on pratique des rainures, de manière à pouvoir loger un petit volet en carton noirci, disposé de telle sorte que la moitié inférieure du disque soit obturée. Ayant projeté pendant quelques instants ce demi-disque rouge sur l'écran, en indiquant aux spectateurs qu'ils doivent le regarder fixe-

ment, on retire vivement le volet et les spectateurs ont, pendant un temps appréciable, la sensation d'un disque rouge dont la partie inférieure est beaucoup plus brillante que la partie supérieure : c'est que la sensation pour cette partie avait été émoussée par la contemplation prolongée. Cette expérience peut se varier de diverses manières, en disposant par exemple sur le disque rouge un verre mobile qui porte une étoile noire, verre qu'on retirera brusquement, et le spectateur verra cette étoile en rouge plus vif, sur un fond rouge assombri.

107. **Complémentaires consécutives.** — Cet émoussement de la rétine, à la suite de la vision persistante d'une couleur, donne lieu à un phénomène assez curieux. Si l'œil est fatigué par la contemplation d'une radiation lumineuse, ce sont les nerfs sensitifs capables de connaître cette radiation qui sont en quelque sorte émoussés ; les deux autres espèces de nerfs, au contraire, sont reposées et plus aptes à saisir les radiations qui leur sont propres et, par suite, si après avoir regardé avec persistance une image

monochrome sur fond noir, on reporte les yeux sur une surface éclairée par la lumière blanche, l'œil sera surtout apte à saisir les radiations pour lesquelles il était reposé, et une fausse image monochrome de couleur complémentaire sera perçue. C'est ce qu'on nomme complémentaire négative ou accidentelle.

Sur un verre rouge, par exemple, disposons une cache noire portant une ouverture en forme d'étoile et projetons le tableau quelques instants, puis retirons-le brusquement : le spectateur verra apparaître une étoile verdâtre sur le fond blanc.

Une cache en papier noir découpée et collée sur verre blanc donnera dans les mêmes circonstances une image grise sur fond blanc, quand on retirera brusquement le tableau.

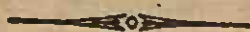
Cette expérience qui peut se varier de diverses manières en changeant les fonds et les colorations démontre parfaitement le triage des couleurs qui doit s'opérer au fond de l'œil.

108. **Coloration par contraste.** — Les couleurs se modifient entre elles par leur rapprochement

et il naît des couleurs complémentaires fausses, par suite d'un triage imparfait de couleurs opéré par la rétine. On le démontre de la très élégante façon suivante, qui a été indiquée par M. Chevreul. Sur un verre transparent, on a photographié, par exemple, l'armature contournée d'un vitrail ou tel dessin compliqué, mais de telle sorte que ce dessin se profile en noir intense sur un fond absolument transparent. Ce tableau étant projeté, on passe, entre lui et le condensateur, une série de verres colorés de teintes peu foncées et à chaque couleur nouvelle le dessin noir prend une coloration différente, la teinte noire se mélangeant d'une teinte complémentaire à celle du fond.

Ainsi le dessin paraîtra jaunâtre sur fond bleu violet, bleuâtre sur fond orangé, verdâtre sur fond rose.

Ces diverses expériences sont passibles de nombreuses variantes qu'il suffit d'indiquer.



III. — La vision en relief

109. **La vision binoculaire.** — Il n'entre pas dans notre cadre de traiter les phénomènes de la vision binoculaire : nous rappellerons rapidement que nous avons connaissance du relief des objets grâce aux images différentes qui se forment dans chacun de nos yeux, et le stéréoscope de Brewster, en permettant d'examiner deux vues photographiques, prises dans les conditions mêmes de la vision, suffit à donner l'illusion complète du relief. On a tenté à plusieurs reprises de reproduire cet effet en projection, et la méthode à la fois la plus complète et la plus élégante a été indiquée par d'Almeida dès 1855 et appliquée récemment par M. Molteni.

110. **Projections stéréoscopiques.** — Les deux parties d'une vue stéréoscopique sont projetées simultanément par une lanterne à deux têtes et superposées autant que possible. On obtient sur l'écran une image à contours indécis par suite des légères dissemblances des deux vues. Derrière

l'un des tableaux on glisse un verre vert, derrière l'autre un verre rouge et on examine l'image à l'aide d'un lorgnon composé de deux verres des mêmes teintes. Un des yeux ne peut ainsi percevoir que l'image rouge, l'autre que l'image verte, et aussitôt l'effet stéréoscopique se produit. Si les teintes des verres ont été convenablement choisies, l'image sera blanche et noire. Si on inverse le lorgnon on aura au contraire l'effet *pseudoscopique*, c'est-à-dire que les reliefs seront vus en creux et les objets d'avant reculés aux seconds plans.

111. **Observations.** — Cette expérience ne réussit pas également bien avec toutes les vues stéréoscopiques : on devra choisir de préférence des vues peu profondes, des intérieurs dont les plans sont nettement définis ; les grandes perspectives ne produisent pas l'effet voulu, la projection simple donnant suffisamment le relief cherché. Il en est de même pour les effets pseudoscopiques, en général les bas-reliefs réussiront mieux. Les verres de couleurs doivent être aussi l'objet d'un choix rigoureux afin d'empêcher la

formation d'une teinte restante ; en général, il suffira de superposer les deux verres à essayer et de regarder au travers un objet blanc bien éclairé; la teinte des verres sera convenable lorsque l'objet paraîtra d'un blanc gris pur, sans trace de jaune verdâtre ou de rose.

IV. — Erreurs de la vision

112. Il est enfin une série d'erreurs systématiques de la vision qu'on peut aussi montrer en projection ; nous citerons les suivantes:

On projette un tableau sur lequel ont été dessinés une série de cercles concentriques tels que la largeur du trait noir soit égale à la largeur du trait blanc ; le cercle paraît non uniformément éclairé et, pour certaines vues, les lignes ne semblent point également nettes ; cet effet est dû à une inégale courbure du cristallin.

D'autres illusions sont produites par des erreurs de jugement. Si on projette, en effet, deux lignes rigoureusement parallèles croisées par de petites lignes obliques, inclinées l'une

vers l'autre, les lignes paraîtront converger ou diverger suivant le sens des croisillons.

Un carré de lignes parallèles horizontales paraît plus allongé qu'un carré semblable de lignes verticales.

De nombreuses expériences de ce genre sont indiquées dans les livres de physique ou les traités spéciaux.



BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY



CHAPITRE VIII

L'ACOUSTIQUE EN PROJECTION

SOMMAIRE : Généralités. — Le son est une vibration. — Inscription des vibrations. — Vibration des cordes. — Figure de Lissajous. — Harmonographe de projection. — Vibration des plaques. — Membranes vibrantes. — Analyse des sons. — L'opeidoscope. — Expériences diverses.

113. **Généralités.** — Les phénomènes de l'acoustique étant le résultat d'un mouvement vibratoire, il est possible en projection d'en montrer soit les effets directs, soit les effets résultants, comme nous allons l'expliquer dans ce chapitre.

114. **Le son est une vibration.** — On démontre facilement qu'un corps entre en vibration lorsqu'il rend un son de la manière suivante : un verre à boire de cristal de petites dimensions et à minces parois est tenu renversé devant le condensateur, on règle le point de façon à avoir sur l'écran une image nette de la génératrice exté-

rieure : le long de cette génératrice est disposé un fil de soie attaché à la base de la coupe et terminé par une petite boule de sureau appuyant sur le bord du verre. Si on frappe un léger coup sur la partie opposée à la balle le verre émet un son cristallin et aussitôt on voit la balle de

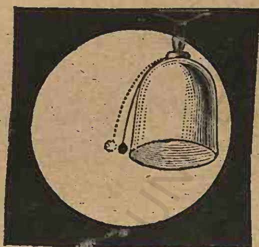


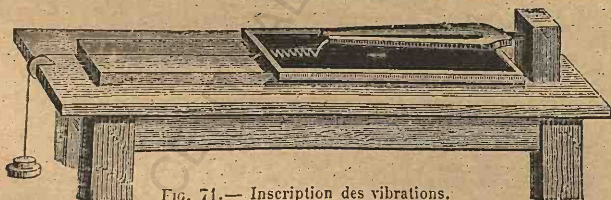
Fig. 70. — Le son est une vibration.

sureau exécuter une série de sauts provoqués par la vibration du verre et le bord de la coupe devient légèrement flou.

On démontre encore cet état vibratoire d'un corps sonore en plaçant devant le condensateur une petite verge métallique, telle qu'une corde de piano solidement attachée par une de ses extrémités : en frappant légèrement sur l'extrémité libre on voit la verge exécuter des vibra-

tions qui se traduisent sur l'écran par la déformation de l'image, celle-ci prenant la forme d'un V très allongé dont la partie supérieure devient grisâtre. A l'aide du stroboscope on peut mettre en évidence les mouvements du bout de la verge.

115. **Inscription des vibrations.** — On peut faire inscrire les vibrations sur une feuille de verre noircie; dans ce but on se sert de l'appareil suivant : sur une monture en bois est pratiquée une ouverture de la grandeur ordinaire des tableaux (8 × 10) sur laquelle on dispose un


Fig. 71.— Inscription des vibrations.

verre noirci en le passant sur une flamme fuligineuse ; en avant de ce verre est disposée une glissière en bois portant un petit diapason dont les branches sont engagées dans un petit bouton d'acier fixé à la monture. Une des branches

porte un petit fil métallique qui peut venir appuyer sur le verre noirci. En tirant vivement la coulisse, les branches du diapason se trouvent écartées et, revenant à leur position normale, entrent en vibration et le fil trace sur le verre noirci une courbe sinusoïde, qui est le développement du mouvement vibratoire : c'est là une variante du vibroscope de Duhamel (*fig.* 71).

Les diverses figures auxquelles peut donner lieu l'inscription du mouvement vibratoire peuvent être projetées schématiquement en préparant des verres enfumés, comme nous l'avons expliqué au sujet du mouvement vibratoire de la lumière ; l'appareil décrit à ce sujet (voir page 98) servira aussi à démontrer la propagation et le mode de translation de l'onde sonore.

116. **Vibration des cordes.** — La vibration des cordes se projette très facilement en tendant sur un cadre une corde de violon dont une partie passe devant le condensateur[1]. On fait vibrer à

[1] La corde doit avoir au moins une longueur de 25 à 30 cent. ; on emploiera de préférence une corde filée dont les vibrations plus longues sont mieux saisies par l'œil.

l'aide d'un archet la partie extérieure, et la forme renflée que prend la corde est parfaitement visible sur l'écran. A l'aide d'un chevalet mobile on peut raccourcir la partie vibrante et on voit la corde se partager en un certain nombre de parties renflées en forme de fuseaux donnant ainsi naissance aux nœuds et aux ventres.

On montre aussi l'existence des nœuds et des ventres en disposant sur la corde de petits cavaliers en papier ou en clinquant. Ceux d'entre eux qui sont placés sur les nœuds restent immobiles, les autres sont projetés.

117. **Figures de Lissajous.** — La composition de deux mouvements vibratoires de sens inverse donne lieu à de très curieuses figures, qui ont été étudiées par Lissajous et auxquelles il a laissé son nom. Ce savant recevait sur un miroir attaché à une des branches d'un diapason un faisceau lumineux qui, se réfléchissant sur un second miroir attaché à un diapason disposé perpendiculairement au premier, formait sur un écran l'image d'un point. Dès que les deux dia-

pasons vibraient le point décrivait sur l'écran des courbes toujours les mêmes pour une différence donnée de phase ou de hauteur entre les diapasons. La figure 72 nous montre le dispositif employé par Lissajous pour l'observation directe du phénomène.

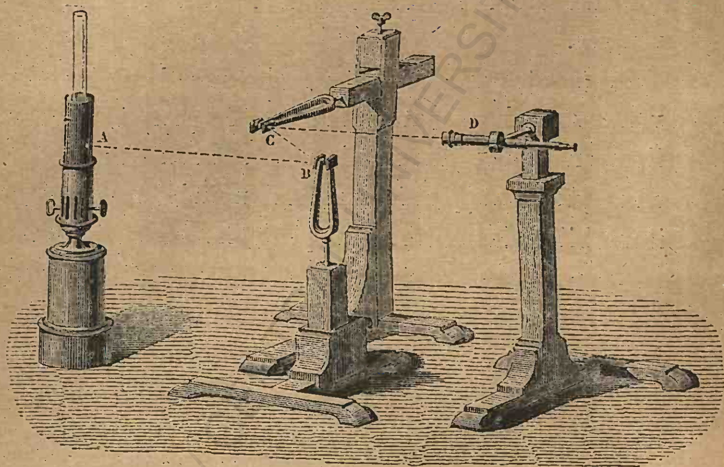


Fig. 72. — Dispositif de Lissajous.

Un rayon de lumière part d'une lampe A, il est limité à un mince faisceau par un petit trou percé dans une cheminée opaque, qui couvre le verre de la lampe. Après avoir frappé en B sur

un diapason vertical, il est réfléchi par un petit miroir sur un second miroir C, fixé sur le second diapason, disposé horizontalement; la figure résultante est examinée à l'aide de la lunette D.

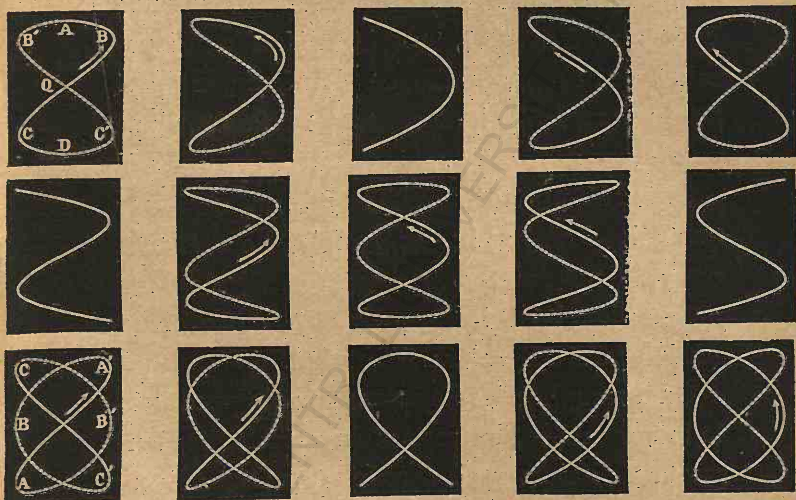


Fig. 73. — Figures de Lissajous.

Les figures ainsi obtenues sont très caractéristiques, et nous donnons ici les principales. On voit que pour chaque intervalle donné on obtient une figure type, qui se déforme suivant les différences de phases, c'est-à-dire suivant le retard

de vibration de l'un des diapasons sur l'autre.

La première ligne nous montre les figures produites par deux diapasons donnant l'octave, rapport 2 à 1, et les déformations successives suivant les différences de phases. La seconde ligne reproduit les figures fournies d'un diapason ayant un intervalle de douzième, rapport 3 à 1 ; dans la troisième, l'intervalle est d'une quinte, rapport 3 à 2.

On peut répéter l'expérience sous la forme que lui a donnée Lissajous, mais elle demande un outillage assez compliqué et délicat ; aussi a-t-on cherché à le simplifier et de nombreux modèles ont été créés dans ce but.

On a remplacé les diapasons par des pendules, la longueur de l'un restant invariable, la longueur de l'autre varie dans le rapport des diverses notes de la gamme. Ces deux pendules actionnent un stylet dans un même plan, mais suivant des directions perpendiculaires l'une à l'autre ; le stylet trace sur une plaque de verre noircie les courbes mêmes des figures de Lissajous.

Dans d'autres modèles on a employé, à la place des pendules, assez encombrants, des moyens

mécaniques : engrenages, roues à corde sans fin, etc., qui actionnent des bielles liées au stylet, ou agissant sur des plaquettes de métal percées d'une fente.

118. **Vibration des plaques.** — Lorsqu'on fait vibrer une plaque sonore, la surface de celle-ci se partage en parties vibrantes et en parties immobiles qu'on nomme *lignes nodales ;* on met celles-ci facilement en évidence de la manière suivante : au-dessus du condensateur de l'appa-

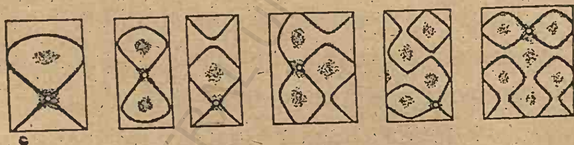


Fig. 74. — Lignes nodales dans les plaques sonores.

reil à réflexion totale on fixe par un coin une mince plaque de verre dont les bords ont été soigneusement doucis. A l'aide d'un tamis, on répand sur ce verre horizontal une légère couche de sable très fin ou de lycopode, puis on fait vibrer la plaque en l'attaquant avec un archet de violon. Aussitôt le sable abandonne les parties vibrantes et s'accumule sur les lignes nodales en

formant de curieux dessins, qu'on a appelés *figures de Chladni*[1]. On fait varier très facilement la position des lignes nodales en touchant les parties de la plaque où l'on veut qu'elles se produisent; on obtient ainsi une variété très grande de figures, qu'on peut encore diversifier en se servant de plaques circulaires fixées par un point de leurs bords et ébranlées au centre par une mèche de crins frottée de résine et passée par un trou central de la plaque.

Nous rappellerons rapidement que la loi de formation des figures peut se résumer ainsi : dans un même genre de plaques, le nombre des vibrations est en raison directe des épaisseurs des plaques et en raison inverse de leurs surfaces.

119. **Membranes vibrantes.** — Les membranes très fines, fortement tendues sur un cadre, peuvent aussi entrer en vibration ; elles ne donnent en général qu'un son très sourd et peu élevé, mais pré-

[1] Chladni, physicien allemand, né à Vittemberg, en 1756, mort en 1827, a fait de nombreuses études sur le son et a publié entre autres un *Traité d'acoustique* très complet.

sentent nettement les phénomènes de ventres et de nœuds. D'autre part, elles sont capables de vibrer par influence lorsqu'elles sont soumises aux vibrations de l'air, provoquées par un corps sonore. Pour réaliser l'expérience, on fixe sur un cadre une mince baudruche mouillée, qui se tend en séchant ; on répand à sa surface de la poudre de lycopode et on place la membrane au-dessus du condensateur de l'appareil à réflexion totale. Si on fait vibrer à côté de ce dispositif un timbre de cristal, on voit aussitôt se former à la surface de la membrane des lignes ondulées, marquant les places des lignes nodales.

120. **Analyse des sons.** — En étudiant les vibrations de la lumière, nous avons indiqué plusieurs expériences destinées à montrer le mouvement vibratoire ; ces expériences pourront être reprises pour l'analyse des sons. D'autres appareils ont été créés dans le même but : nous signalerons la méthode des flammes manométriques de Kœnig. Elle consiste essentiellement à transmettre le mouvement des ondes sonores à une flamme gazeuse, par l'intermédiaire d'une membrane.

La flamme subit ainsi des trépidations, qu'il est possible de montrer à tout un auditoire en étalant les diverses images à l'aide d'un miroir tournant.

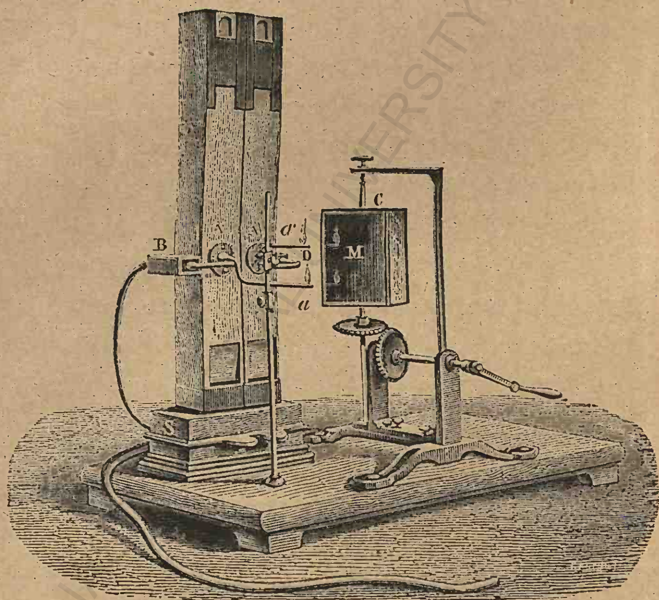


Fig. 75.

121. **Opeidoscope.** — Un autre appareil du même genre est l'*opeidoscope*, qui est constitué

par un large tronc de cône, sur la petite base duquel est tendue une mince baudruche. Au centre de celle-ci est collé un petit miroir très léger. Un mince pinceau de lumière est projeté par la lanterne sur le miroir, qui reflète le rayon sur l'écran en produisant un point lumineux. Si on parle ou on chante devant la grande base du tronc de cône, la membrane vibre et le rayon décrit sur l'écran des figures diverses, qui paraissent continues, par suite du phénomène de la persistance de la vision.

122. **Les flammes manométriques de Kœnig.** — Nous donnerons ici l'indication de l'expérience de Kœnig, bien qu'elle ne constitue pas à proprement parler une projection, mais elle est un moyen optique de se rendre compte des vibrations sonores.

Sur la paroi d'un tuyau sonore A est disposée une petite capsule métallique, dont le fond constitué par une membrane mince pénètre dans le tube. En avant est fixé un petit ajutage par lequel s'échappe du gaz d'éclairage conduit par le tube B. Si on allume ce gaz, on

obtient une petite flamme tranquille, qui est animée de soubresauts, dès qu'on agit sur la soufflerie S et que le tuyau se met à rendre un son. Pour analyser les mouvements de la flamme, on dispose en avant d'elle un miroir à quatre faces M auquel un engrenage peut imprimer un rapide mouvement de rotation. Dès que le miroir est mis

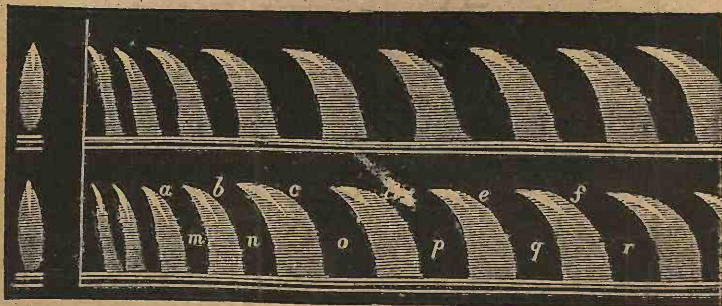


Fig. 76. — Apparences de la flamme dans le miroir.

en mouvement, on aperçoit une série de flammes produites par la dissociation des diverses images et si, comme dans la figure 75, on a placé côte à côte deux tuyaux sonores donnant des sons différents, les deux images se juxtaposent et il est possible d'analyser les deux sons; l'aspect pris par les deux flammes est rendu par la figure 76.



CHAPITRE IX

LA PHYSIQUE MOLÉCULAIRE

SOMMAIRE : Définitions générales. — Formation des gouttes. — Détermination de la tension superficielle. — Tubes capillaires. — Lames inclinées. — Dépressions capillaires. — Attraction et répulsion capillaires. — Autre effet de la tension superficielle. — Tourbillon du camphre. — Explication du phénomène. — Forme des gouttes libres. — II. Membranes liquides. — Tension des lames liquides. — Tension des bulles de savon. — Composition des membranes. — La forme des cellules. — III. La veine liquide. — Sa constitution. — Le jet d'eau. — Formes de la veine liquide. — Attractions électriques de la veine. — Veines superposées. — Microphone hydraulique.

123. **Définitions générales.** — Autrefois, en observant que les liquides semblaient, dans les tubes étroits, échapper aux lois de l'hydrostatique, les physiciens avaient admis une force spéciale qu'ils avaient appelée la *capillarité*. Depuis, des études suivies sur ce phénomène ont permis de généraliser le fait et on nomme à l'heure actuelle *tension superficielle*, la force d'attraction qui maintient réunies les parties extérieures des

liquides, et l'étude de cette tension superficielle permet d'expliquer non seulement les phénomènes de capillarité, mais nombre d'autres phénomènes de même genre qui n'avaient pas encore eu de solution.

124. **Formation des gouttes.** — Si, devant le condensateur, on dispose un petit entonnoir fermé par une pointe effilée et qu'on mette dans cet entonnoir quelques gouttes d'eau colorée, on verra sur l'écran une petite masse se former à l'extrémité du tube ; elle grossira peu à peu et prendra une forme allongée, enfin elle s'étranglera près de l'orifice, pendant que le reste de la goutte tendra à prendre la forme sphérique, enfin elle se détachera et une nouvelle goutte se formera à son tour.

Le phénomène se sera, somme toute, accompli comme si la goutte d'eau avait été enveloppée par une mince membrane, qui, se distendant peu à peu sous l'afflux du liquide, aurait fini par se rompre. Cette membrane hypothétique est la tension superficielle, dont la valeur change suivant la densité et la viscosité des liquides, mais

elle est toujours la même pour un même liquide. Il en résulte pratiquement que les poids des gouttes de différents liquides sont entre eux comme leurs densités et toujours égaux pour un même liquide.

125. **Diminution de la tension superficielle.** — Il a été possible de mesurer la force de la tension superficielle pour différents liquides; c'est ainsi qu'on a pu déterminer celle de l'eau pure, qui est d'environ 7 à 8 milligrammes par millimètre carré. On démontre que les tensions superficielles varient avec les liquides d'une très élégante manière.

Dans une cuvette horizontale disposée sur l'appareil à réflexion totale nous déposons une mince couche d'eau colorée avec un peu d'aniline : on observe sur l'écran une teinte uniforme. Versons au centre de la cuvette quelques gouttes d'alcool, qui, plus léger, a par suite une tension superficielle plus faible : aussitôt l'équilibre de tension superficielle de l'eau est rompu; tandis que l'eau cherche à se masser sur les bords, l'alcool tend, au contraire, à se resserrer sur lui-

même ; la plus forte tension de l'eau l'emporte et il se forme une déchirure dans la couche, qui se manifeste sur l'écran par une large ouverture blanche.



Fig. 77.

126. **Tubes capillaires.** — Lorsqu'un tube capillaire est plongé dans un liquide, c'est encore grâce à la tension superficielle que le liquide, au mépris apparent des lois de l'hydrostatique, monte dans le tube, et la hauteur de l'ascension du liquide est en raison directe de la valeur de la tension superficielle. Quand les tubes s'élar-

gissent, la force de traction croît suivant le rapport de l'élargissement, mais le poids de la colonne soulevée croît suivant le carré de ce rapport; par suite on peut dire que l'ascension de l'eau est inversement proportionnelle au diamètre du tube.

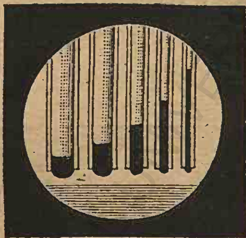


Fig. 78. — Les tubes capillaires.

On montre le phénomène en projection de la manière suivante : une série de tubes étroits, de diamètres différents, sont maintenus verticalement dans une cuve à expériences. On verse lentement de l'eau colorée dans le fond de la cuve jusqu'à ce que le niveau du liquide affleure les tubes; à ce moment, on voit l'eau se précipiter dans les tubes, en montant à une hauteur d'autant plus grande que le diamètre est plus

étroit. On démontre que c'est bien en vertu de la tension superficielle que le liquide est retenu dans les tubes en vidant peu à peu la cuve, les colonnes d'eau restent suspendues avec les mêmes hauteurs dans les tubes lorsque toute communication a été rompue entre elles et la masse du liquide, et, d'autre part, il est facile de vérifier que les diverses portions des liquides sont toutes de même poids.

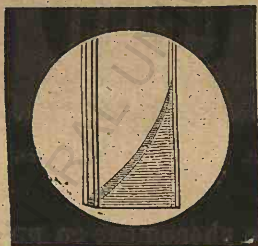


Fig. 79. — Lames inclinées.

127. **Lames inclinées.** — De cette expérience il résulte que, si deux lames, formant entre elles un angle très aigu, sont plongées dans un liquide, celui-ci s'élèvera d'autant plus haut que les deux lames seront plus rapprochées. En effet, si dans le dispositif précédent on remplace la

série des tubes par deux lames verticales de verre mince faisant un angle aigu, dès que l'eau arrivera au contact des lames, elle s'élancera en décrivant dans l'espace une courbe particulière qu'on nomme *hyperbole équilatère* (*fig.* 79).

128. **Observations.** — Pour assurer la réussite de l'expérience avec les tubes capillaires ou les lames inclinées il est absolument nécessaire que celles-ci soient franchement mouillées par l'eau, et par suite il y a lieu de les dégraisser soigneusement en les lavant à l'alcool et à l'eau distillée.

129. **Dépressions capillaires.** — Nous avons vu que, lorsque les tubes capillaires trempent dans un liquide capable de les mouiller, il y a ascension de ce dernier; le phénomène inverse se produit lorsque le liquide ne peut les mouiller. Non seulement il y a dépression, mais encore le ménisque supérieur, qui dans le premier cas était concave, devient convexe dans le second cas.

Il n'est pas possible de démontrer le phéno-

Univ. „Al. I. Cuza" Bibl. de Fizică

mène en projection par les moyens que nous avons indiqués plus haut, mais on emploie le dispositif suivant : un tube de verre de 6 à 8 millimètres de diamètre est soudé à un tube

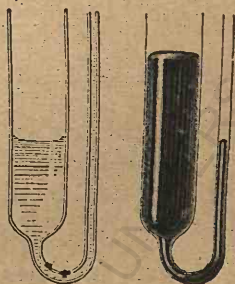


Fig. 80 et 81. — Dépressions capillaires.

étroit, de 1 millimètre, coudé à sa partie inférieure, comme on le voit dans les figures 80 et 81. On met d'abord dans ce tube un peu d'eau colorée et le phénomène de l'ascension est aussitôt démontré. On vide le tube et on y passe un peu d'alcool concentré pour le dessécher et on assure la dessiccation en soufflant dans le tube; on y verse alors du mercure et aussitôt sur l'écran on voit que la colonne mercurielle dans le tube étroit est moins élevée que dans le tube

large et le ménisque supérieur dans l'un et l'autre prend une forme convexe très marquée.

Afin de montrer le phénomène d'une façon bien nette, sans être gêné par les pénombres, nous rappellerons que le tube doit être plongé dans une cuve pleine d'eau pure placée devant le condensateur. (Voir § 19.)

130. **Attractions et répulsions capillaires.** — Cette forme convexe ou concave du liquide à l'inté-

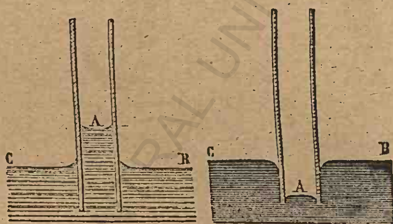


Fig. 82. — Attractions et répulsions capillaires.

rieur des tubes se reproduit extérieurement dans la ligne de séparation du liquide et des tubes. C'est grâce à ce double phénomène qu'on peut expliquer les attractions et les répulsions qu'on observe sur les objets qui flottent sur les liquides.

Disposons devant le condensateur une cuve à demi remplie d'eau pure et déposons à sa surface deux petites balles de liège, préalablement bien mouillées et exemptes de matière grasse : dès que nous les aurons suffisamment rapprochées nous les verrons se précipiter l'une vers l'autre. C'est que toutes deux seront en quelque sorte tombées dans le creux provoqué par la capillarité ; si nous éloignons l'une d'elles à l'aide d'un fil de fer l'autre la suivra.

Déposons, au contraire, sur l'eau deux balles de cire, le phénomène inverse se produira et, si nous essayons de rapprocher une des balles, l'autre semblera fuir.

131. **Autre effet de la tension superficielle.** — Si devant le condensateur nous disposons un petit tube à expériences presque rempli d'eau colorée, nous voyons que la surface libre du liquide a une forme concave.

Ajoutons peu à peu de l'eau colorée jusqu'à ce que le tube soit exactement plein, la forme concave persiste, mais, si nous introduisons doucement dans le tube des petits plombs de chasse,

le volume de l'eau sera plus considérable que le volume intérieur du tube et cependant l'eau ne débordera pas; maintenue par la tension superficielle la couche supérieure s'arrondira au-dessus des bords du tube, jusqu'à ce que le poids de l'eau, devenu supérieur à la force qui le maintient, crève en quelque sorte la membrane élastique qui la comprime.

132. **Tourbillons du camphre.** — A côté de ces expériences il convient de placer la suivante qui en dérive : plaçons sur l'appareil à réflexion totale une cuve horizontale que nous remplirons d'eau pure et semons à la surface de cette eau du camphre réduit en poudre. Aussitôt sur l'écran nous verrons les menus cristaux agités d'un mouvement giratoire continu. C'est que le camphre, se dissolvant peu à peu dans l'eau, crée autour de lui des effets divers de tensions superficielles, qui réagissent sur ses arêtes et le font tourbillonner. Vient-on à tremper le doigt dans l'eau, tout mouvement s'arrête pour reprendre dès qu'on le retire; cet arrêt du mouvement giratoire est attribué par les uns à une

influence électrique, mais d'autres expérimentateurs y voient de préférence une action des matières grasses qui modifient la tension superficielle; en effet, une goutte d'huile jetée dans cette eau arrête aussitôt tout mouvement et le phénomène ne se montre dans toute sa force que si l'on emploie une cuvette parfaitement propre [1].

Il résulte de cette observation que, pour réussir l'expérience, il faut que la cuve soit parfaitement propre et bien exempte de toute matière grasse.

Van Mensbrugghe a donné une forme originale à l'expérience. On constitue avec du papier d'étain une petite coupelle qu'on dépose sur la surface du liquide et on joint par une paille cette coupelle à un petit bateau en papier d'étain dans l'arrière duquel est assujetti un petit morceau de camphre : le bateau doit être disposé tangentiellement à la coupelle. Par l'effet de la réaction du camphre tout l'appareil prend un mouvement de rotation, dont l'axe passe par le centre de la

[1] Notons que c'est par suite de cette diminution de la tension superficielle de l'eau par les matières grasses, qu'on arrive à calmer les flots agités autour des navires, en faisant filer à la mer quelques litres d'huile.

coupelle. Vient-on à mettre le doigt dans l'eau, le bateau perd de sa vitesse et même s'arrête. Si on modifie la tension superficielle de l'eau en y versant de la vapeur d'éther les mouvements du bateau deviennent désordonnés.

133. **Explication du phénomène.** — Ce phénomène qui a exercé longuement la sagacité des chercheurs est réellement dû à la tension superficielle; on le démontre de la façon suivante : la cuvette horizontale étant pleine d'eau pure, on dépose à sa surface un anneau de fil, qui s'étale suivant une forme irrégulière. Dans l'intérieur de l'anneau, on met un peu de poudre de camphre qui prend aussitôt le mouvement giratoire, mais peu à peu, au fur et à mesure que la dissolution s'opère, le fil se tend de plus en plus et finit par prendre une forme circulaire, c'est que la tension de la pellicule d'eau pure est plus forte que la tension de la pellicule d'eau camphrée.

134. **Forme des gouttes libres.** — La tension superficielle ayant pour effet de presser de toutes

parts sur la surface des liquides, il doit en résulter qu'une goutte d'un liquide, mise dans des conditions telles qu'elle échappe à la pesanteur, doit prendre la forme d'un solide ayant la surface minimum, c'est-à-dire la forme sphérique : c'est ce que l'expérience de Plateau démontre. Par un mélange convenable d'eau et d'alcool on peut constituer un liquide ayant exactement la même densité qu'une huile donnée ; la cuve verticale étant remplie de ce liquide, on dépose à l'intérieur, à l'aide d'une pipette effilée, une

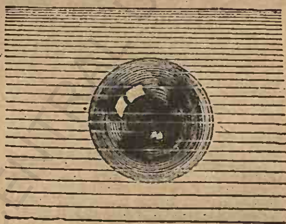


Fig. 83. — Forme sphérique de l'huile dans un liquide de même densité.

grosse goutte d'huile ; celle-ci prend immédiatement la forme sphérique. Si on la déforme, soit en lui imprimant un rapide mouvement de rotation à l'aide d'une aiguille terminée par un petit disque de métal, soit en la frappant avec

une baguette de verre, on lui voit reprendre ensuite sa forme sphérique par une suite d'oscillations.

L'huile qui servira à ces expériences est de l'hüile d'olive, qui aura été épurée en la battant avec de l'eau fortement alcoolisée; par le repos l'huile pure se séparera de l'eau. Lorsque la bulle est déposée dans le liquide, on la force à rester au centre de la cuve en ajoutant de l'eau pure au fond de celle-ci ou de l'alcool à sa partie supérieure ; on emploie dans ce but des pipettes très

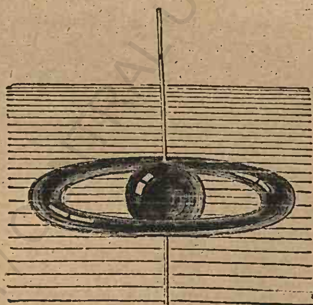


Fig. 84. — L'anneau de Saturne.

effilées. On doit opérer avec lenteur, éviter les mouvements brusques pour empêcher que l'huile ne touche aux parois de la cuve.

Plateau a indiqué une très curieuse variante de cette expérience : au centre de la goutte d'huile en équilibre, on introduit une aiguille munie d'un petit disque, autour duquel l'huile se dispose en sphère. On imprime à l'aiguille un rapide mouvement de rotation autour de son axe et, quand la vitesse est suffisante, il se sépare de la sphère une couronne en forme de tore, due à la force centrifuge, qui, d'après Plateau, expliquerait le singulier anneau qui entoure la planète Saturne.

II. — Membranes liquides

135. **Généralités.** — La tension superficielle s'exerce de même sur les lames liquides et le phénomène se démontre de diverses façons : on se sert dans ce but du liquide glycérique, dont nous avons donné la composition dans un chapitre précédent ; on a soin de le rendre un peu visqueux pour donner plus de ténacité aux lames et permettre de prolonger l'expérience.

136. **Tension dans les lames liquides.**— On trempe dans le liquide savonneux que nous avons décrit plus haut, § 82, un anneau de fil de fer galvanisé et on retire ainsi une mince lame qu'on projette facilement en la plaçant devant le condensateur. Si on la perce avec une aiguille d'acier

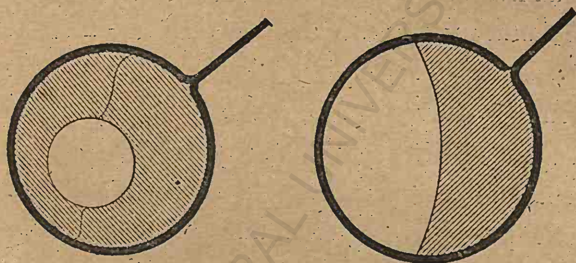


Fig. 85 et 86. — Tension dans les lames.

chauffée, elle éclate aussitôt, ce qui démontre l'état de tension de la lame. On met cette force plus en évidence en attachant aux bords de l'anneau un petit fil de soie plus court que le diamètre et un peu lâche; après avoir formé la lame, on montre que le fil flotte d'une manière indifférente sur le liquide ; mais, si on perce la partie de la lame comprise entre le fil et une

des portions de la circonférence, cette partie seule de la lame éclate et le fil tendu par la seconde portion de la lame prend une courbure régulière (*fig.* 86). Cette expérience se répète encore d'une élégante manière en attachant sur les bords de l'anneau un double fil présentant deux nœuds, de manière à former vers le centre de l'anneau une ganse ; la lame formée, on écarte légèrement les deux fils à l'aide d'une aiguille trempée dans l'eau de savon ; puis, avec une seconde aiguille rougie, on fait éclater la partie de la lame comprise dans la ganse, aussitôt en cette partie le fil prend une forme circulaire parfaite.

137. **Tension des bulles de savon.** — La surface extérieure des bulles de savon presse avec force l'air contenu dans la bulle ; on le démontre facilement en soufflant une bulle à l'extrémité d'un petit entonnoir : dès que la bulle est formée, on bouche l'orifice de l'entonnoir avec le doigt et on l'approche d'une bougie, on voit l'air chassé de la bulle faire incliner la flamme au fur et à mesure que la bulle diminue.

138. **Composition des membranes.** — C'est encore par suite des effets de la tension superficielle qu'on voit se former au sein de carcasses géométriques de fil de fer des séries de lames se

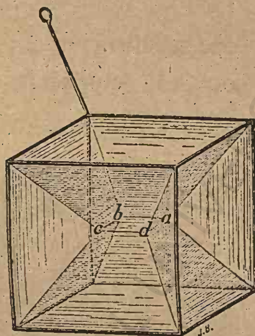


Fig. 87. — Composition des membranes.

recoupant toujours suivant des formes régulières et bien définies. Si on trempe, par exemple, un petit cube en fil de fer dans la solution savonneuse et qu'on le retire d'un brusque mouvement, il se formera un assemblage de lames comme celui que nous présente la figure 87 et qui donne en projection de fort curieux spectacles, qu'on peut changer à l'infini, soit en crevant avec une aiguille rougie l'une des faces,

soit en faisant varier les formes des carcasses de fil de fer, ou en démolissant peu à peu les combinaisons premières en soufflant légèrement dessus.

138. **La forme des cellules.** — A côté de ces expériences, il convient de citer la suivante, qui

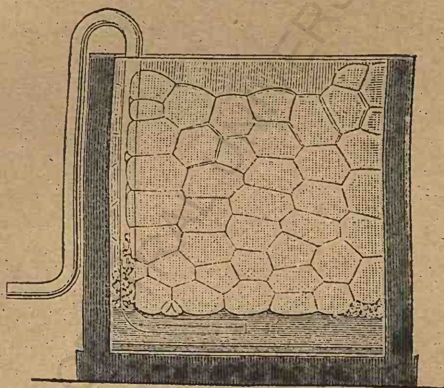


Fig. 88. — La forme des cellules.

montre la loi de formation des cellules végétales. Si, dans une cuve verticale, nous mettons une couche de liquide savonneux et que, à l'aide d'un tube capillaire, nous soufflons par intermittences dans le liquide, nous détermine-

rons la formation de bulles nombreuses, qui, s'accolant les unes aux autres, ne tarderont pas à former une sorte de mosaïque de bulles à section hexagonale, irrégulières, mais telles que les angles adjacents ont toujours même ouverture. Il sera bon de compléter cette démonstration en projetant diverses coupes de matières végétales, coupes de sureau, de tiges de graminées, feuilles de géraniums, qui montrent ce dispositif dans la nature.

III. — La veine liquide

Il nous paraît utile de consacrer dans ce chapitre une étude à la veine liquide, la tension superficielle étant la force première qui régit les formes que prend celle-ci dans l'air.

139. **Constitution de la veine liquide.** — Disposons sur le côté du condensateur la fontaine de Colladon, que nous avons décrite plus haut, et que nous placerons pour cette expérience sur un

pied spécial représenté par la figure 89. On pourra varier les ajutages de manière à avoir diverses formes de veine liquide, et on orientera

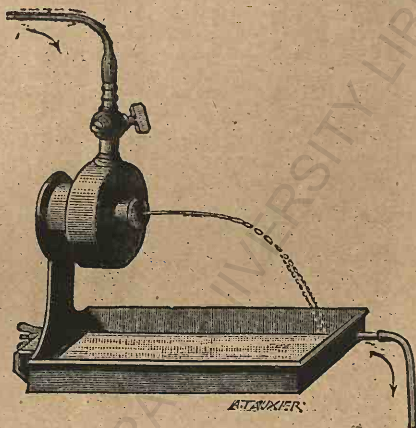


Fig. 89. — La veine liquide.

l'appareil de manière que la veine passe dans un plan parallèle au condensateur : on garnira le robinet de la fontaine d'un tube de caoutchouc faisant syphon et communiquant avec un vase surélevé de 15 à 25 centimètres au plus. On réglera du reste le débit du robinet de telle façon que le jet reste compris dans l'espace limité par le bassin inférieur ; on obtiendra faci-

lement ce résultat en ouvrant plus ou moins le robinet.



Fig. 90. — La veine liquide.

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

On voit sur l'écran l'eau tomber en formant d'abord une colonne liquide pleine; puis, la pesanteur étant plus forte que la tension superficielle, la colonne prend une forme ondulée, et se rompt ensuite, en une multitude de gouttes qui s'espacent de plus en plus. La persistance de la vision ne nous permet pas de nous rendre un compte exact de cette division et le jet paraît continu; mais, si on place sur la bonnette de l'objectif le stroboscope et qu'on lui donne un mouvement de rotation convenable, les gouttes paraissent immobiles dans l'espace et il sera dès lors possible d'analyser le phénomène.

Cette veine liquide est très sensible aux vibrations de l'air environnant : en effet, si on fait entendre non loin d'elle un coup de sifflet aigu, on verra l'espacement des gouttes augmenter et celles-ci, mises en vibration, sembleront s'aplatir, laissant entre elles de plus petites gouttes, résidu de la pellicule ou, plutôt, de l'étranglement qui les réunissait d'abord.

140. **Le jet d'eau.** — Cette sensibilité extrême de la veine liquide se met en évidence d'une

autre manière très curieuse : plaçons l'appareil qui vient de nous servir à plat sur la cuvette horizontale, au bas du condensateur, de manière que l'ajutage nous fournisse un petit jet d'eau ; disposons l'appareil de telle sorte que le jet, presque vertical, décrive dans l'espace une courbe à anse très fermée.

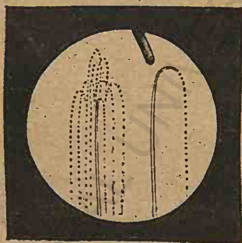


Fig. 91. — Le jet d'eau.

Nous voyons sur l'écran une première colonne liquide qui ne tarde pas à se résoudre en une multitude de petites gouttes formant dans l'espace une nappe conique, qu'il nous sera facile d'analyser à l'aide du stroboscope. Prenons un bâton de cire à cacheter que nous frotterons vivement sur un morceau de flanelle sèche et appro-

chons-le à quelques centimètres du haut de la boucle ; aussitôt les gouttelettes se rassemblent et le jet ne se compose plus que d'une série de grosses bulles, suivant exactement le même chemin ; retirons le bâton de cire électrisée et le cône des gouttelettes se reforme.

Cette expérience est des plus saisissantes et excite toujours le plus vif étonnement.

Si, au lieu d'approcher la cire électrisée du sommet du jet d'eau, nous l'approchons de la base, au point même où la colonne liquide tend à se résoudre en gouttes, le jet prendra un autre aspect : au point où se formait la boucle, le jet se scindra en plusieurs branches coulant dans tous les sens et figurera assez bien une sorte de palmier, cet effet est représenté dans la partie gauche de la figure 91.

Si à côté du jet d'eau nous faisons vibrer un diapason, le jet se subdivisera en plusieurs branches, comme s'il y avait plusieurs orifices d'écoulement ; il y a lieu de chercher, en modifiant plus ou moins la pression, quelle est la vitesse d'écoulement qui convient le mieux pour tel ou tel diapason.

141. **Formes de la veine liquide.** — La forme de l'orifice d'écoulement a une grande influence sur la forme même de la veine liquide ; elle garde assez longtemps la section que lui a donnée l'orifice qui l'a en quelque sorte laminée. Un orifice rond donne un jet cylindrique, un orifice en forme de croix lui donne une forme à quatre arêtes et le jet se tord sur lui-même, de telle sorte que les arêtes sont disposées en une sorte d'hélice. Il en est de même si l'orifice a une forme triangulaire. Ces divers aspects de la veine sont nettement perçus à l'aide du stroboscope ; on monte alors l'appareil sur le pied que nous avons décrit plus haut (*fig.* 89) et on donne un peu de pression à l'eau (25 à 30 centimètres) ; pour que le jet soit plus visible sur l'écran on colore l'eau avec un peu d'aniline, de préférence une fluorescéine, qui donne lieu à de remarquables colorations.

142. **Attractions électriques de la veine.** — La veine liquide est très facilement attirée par un bâton de cire à cacheter électrisé et celui-ci peut servir à en modifier la forme de diverses façons. Si on

approche la cire du jet au-dessus de la colonne liquide pleine, on voit celui-ci se relever en formant un coude très prononcé ; si on place la cire au dessous, la parabole décrite par l'eau se rapproche plus ou moins de la verticale. En faisant mouvoir la cire électrisée, on déplace le jet dans tous les sens. Pour que l'expérience réussisse bien, il est utile que la vitesse d'écoulement ne soit pas trop grande, le phénomène cesse dès que le bâton de cire est mouillé.

143. **Veines superposées.** — Si on fait couler deux veines liquides dans un même plan, de telle sorte que la supérieure vienne frapper obliquement la seconde, la première veine rebondit sur la seconde sans que les filets d'eau se mélangent. On réussit très bien l'expérience, ainsi que l'a indiqué Boys en ajustant avec un peu de cire deux tubes de verre effilés l'un au-dessus de l'autre et en faisant couler par chaque ajutage un jet de liquide différent : par exemple (*fig.* 92) le jet inférieur sera constitué par de l'eau pure, le jet supérieur par de l'eau teintée en rouge par de l'aniline : on voit dans la figure que les

deux jets se déforment mutuellement, mais ne se mêlent pas.



Fig. 92. — Expérience des veines réfléchies. — Première phase.

Si on vient à approcher des deux jets un bâton de cire électrisée, aussitôt ils se réunissent en formant une nappe héliçoïdale (*fig.* 93). Cette expérience est d'une extrême sensibilité et les moindres traces d'électricité sont suffisantes pour obtenir l'effet.

Pour bien réussir cette très curieuse expérience il y a lieu d'observer divers points : l'eau

doit être filtrée avec le plus grand soin, la moindre poussière ou des bulles d'air empêcheraient le jet de rebondir franchement sur l'autre. La sensibilité des deux jets est telle qu'à 2 ou 3 mètres de distance le bâton de cire électrisée peut provoquer la réunion des deux veines.



Fig. 93. — Expérience des veines réfléchies. — Deuxième phase.

Celles-ci doivent autant que possible être d'égale force et on y arrive en comprimant les tubes de caoutchouc, qui amènent les liquides, avec des pinces à vis. Pour séparer les deux

BCU IASI CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

jets, il suffit d'approcher doucement le doigt de l'orifice supérieur, on dévie ainsi le jet et, en retirant lentement le doigt, la veine se réfléchit de nouveau sur l'inférieure.

On arrive encore à provoquer le mélange des veines en faisant tomber une pincée de lycopode sur le point de tangence, ou en y mettant une petite goutte d'huile, ou encore en faisant vibrer un diapason, ou plus simplement avec un fort coup de sifflet.

On peut donner une autre forme à cette expérience de la manière suivante : on se sert de l'appareil décrit plus haut (voir § 140) disposé pour produire le jet d'eau vertical, on remplace l'ajutage à un trou par un autre percé de trois à quatre trous. On a ainsi une gerbe composée de plusieurs filets liquides : si on approche le bâton de cire électrisé, les jets se réunissent en une seule et grosse colonne.

144. **Microphone hydraulique.** — En faisant écouler de l'eau à haute pression par un petit orifice d'un millimètre, on obtient un jet très puissant qu'on dirige sur une membrane de

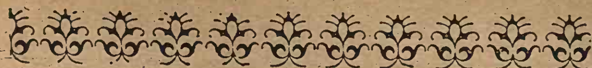
caoutchouc tendue à l'extrémité d'un tube de 10 à 12 millimètres de diamètre. Si on approche une montre du tube de sortie de l'eau, la veine liquide entre en vibration et frappe la membrane d'une façon rythmée comme le tic-tac de la montre et celui-ci, considérablement amplifié, pourra être entendu de la salle tout entière.

Il y a de nombreuses variantes aux diverses expériences que nous venons de décrire, celles-ci sont des plus intéressantes et donnent lieu à de très curieux spectacles sur l'écran.

Elles ont été, du reste, décrites de la plus intéressante façon, par Boys, qui les a montrées dans une série de conférences à la Société royale de Londres[1].

[1] Voir *Bulles de savon*, par C.-V. Boys. Traduit de l'anglais par C.-E. Guillaume, 1892. Paris, Gauthier-Villars et fils.





CHAPITRE X

L'ÉLECTRICITÉ EN PROJECTION

SOMMAIRE : I. Magnétisme. — Propriétés des aimants. — Diversité des pôles. — Aimantation par influence. — Solénoïdes. — II. Électricité dynamique et électrostatique. — Pendule électrique. — Eudiomètre. — Électro-aimant. — Galvanomètre. III. Électrolyses. — Électrolyse de l'eau. — Occlusion du palladium. — Électrolyse des sels. — IV. Lumière électrique. — Étincelle électrique. — Chaleur dégagée par le courant. — Lumière électrique. — Effets divers.

I. — Magnétisme

145. **Propriétés des aimants.** — Sur le condensateur de l'appareil à réflexion totale, on dispose une lame de verre, au milieu de laquelle on met un petit barreau aimanté. A l'aide d'un tamis on répand sur la lame de la limaille de fer et aussitôt cette limaille est attirée et se ramasse aux deux extrémités, tandis que, au centre du barreau, on ne remarque aucune attraction ; on facilite le mouvement des limailles

en frappant légèrement sur un des coins de la plaque de verre ; si on souffle avec force, on chasse toute la limaille non attirée et les deux

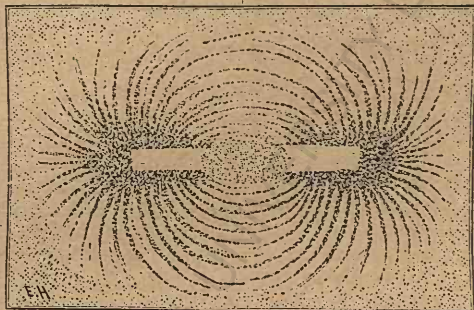


Fig. 94. — Spectre magnétique.

extrémités ou pôles du barreau restent couvertes de houppes soyeuses ; on démontre ainsi les propriétés principales des aimants, pôles et lignes neutres.

Si, au contraire, après avoir tamisé de la limaille sur la plaque de verre, on appuie au centre les deux extrémités d'un électro-aimant en fer à cheval et qu'on fasse passer le courant on obtiendra la figure rayonnée représentée plus loin (*fig.* 95).

146. **Diversité des pôles.** — Sur le condensateur du support à réflexion, on met une petite masse métallique portant un pivot vertical cons-

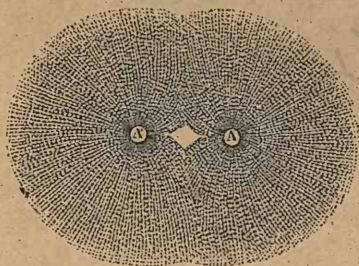


Fig. 95. — Spectre magnétique.

titué par un fragment d'aiguille; au besoin ce pivot est collé sur une lame de verre avec un peu de cire. Sur ce pivot, on dépose une aiguille aimantée et, pour distinguer les pôles, on a eu soin de coller à une extrémité un petit disque de gélatine colorée et on rétablit l'équilibre en surchargeant avec un peu de cire l'autre extrémité. Après quelques oscillations l'aiguille prend une position déterminée à laquelle elle revient dès qu'on la dérange : principe de la boussole.

De l'extrémité marquée par le disque appro-

chons une autre aiguille aimantée : il y a répulsion quand les pôles sont de même nom, attraction quand ils sont de nom contraire.

147. **Aimantation par influence.** — Si on place devant le condensateur vertical un barreau aimanté et qu'on l'approche verticalement peu à peu d'une petite boîte dans laquelle sont déposés de petits clous, lorsque la distance sera suffisamment faible, on verra les clous attirés par l'aimant se précipiter sur celui-ci et y adhérer ; en soulevant le barreau, on entraînera un chapelet de clous ; ceux-ci, s'aimantant par influence, ont joué les uns vis-à-vis des autres le rôle d'aimant.

148. **Solénoïdes.** — On démontre que, suivant la théorie d'Ampère, la force attractive des aimants est due à des sortes de courants parallèles et de même sens, enroulés d'un pôle à l'autre à la surface des aimants, en introduisant une petite tige de fer doux dans une hélice de fil de cuivre, dans laquelle on peut lancer un courant électrique : dès que celui-ci passe, le

fer jusqu'alors inactif est capable de supporter de petits clous du même métal. Il est transformé en aimant, et l'action cesse dès que le courant est interrompu.

Les diverses expériences d'Ampère sur les solénoïdes peuvent être très facilement projetées; nous n'entrerons pas dans le détail, renvoyant le lecteur aux traités de physique.

II. — Électricité statique et dynamique

149. Bien que les théories modernes tendent à supprimer cette distinction de l'électricité statique, c'est-à-dire à l'état de repos, et de l'électricité dynamique, c'est-à-dire à l'état de courant ou de force, nous le conserverons cependant pour la facilité de classification des expériences.

150. **Pendule électrique.** — Mettons devant le condensateur une petite balle de moelle de sureau suspendue à un mince fil de soie : approchons un bâton de cire à cacheter, électrisé

par frottement; il y aura attraction tant que le contact n'aura pas eu lieu. Si la balle vient au contact du bâton, elle s'électrise de même sens et est aussitôt repoussée. Mais, si de cette balle chargée d'électricité résineuse ou négative nous

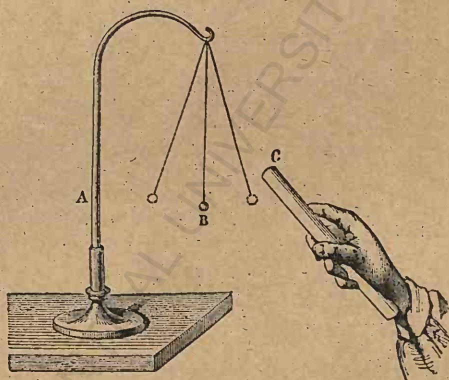


Fig. 96. — Pendule électrique.

approchons une tige de verre électrisée par frottement, il y a aussitôt attraction, suivie de répulsion après contact, démonstration de la loi de Franklin et de Symmer : les électricités de même nom se repoussent, celles de nom contraire s'attirent.

Parmi les expériences similaires, que nous ne

pouvons qu'énumérer, nous signalerons l'électroscope à feuille d'or. Celui-ci se compose d'une cloche soigneusement isolée dans laquelle pendent deux petites lames d'or B et C (*fig*. 97). Quand

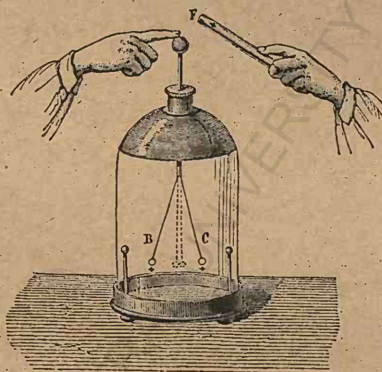


Fig. 97. — Électroscope à feuilles d'or.

on approche du bouton extérieur de la tige, qui soutient les lames, une baguette électrisée, cire à cacheter ou verre, les deux lames se chargent et s'écartent aussitôt; si, au contraire, on décharge l'appareil, en appuyant le doigt sur le bouton (*fig*. 97), les deux lames se rapprochent de nouveau.

A l'aide de l'appareil, représenté par la

figure 98, on démontre encore les effets d'attraction et de répulsion des corps chargés d'électricités contraires. Dans une cloche isolée est disposé un plateau métallique A, soutenu par une tige qui ressort au dehors de la cloche. Dans le bas de celle-ci sont disposées de petites balles de

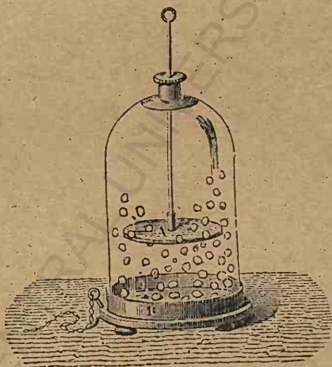


FIG. 98. — La grêle électrique.

sureau, reposant sur un fond métallique D com muniquant avec le sol à l'aide d'une chaînette.- Dès qu'on approche de la tige extérieure une source d'électricité, on voit les balles de sureau sauter en tous sens attirées et repoussées alternativement par le flux d'électricité dont elles

se chargent. Cette expérience qui est une variante du pendule électrique se nomme la grêle électrique.

Ces divers appareils se placent devant le condensateur de la lanterne, et se projettent en ombres noires sur l'écran.

151. **Eudiomètre.** — L'eudiomètre est un appareil destiné à montrer les effets chimiques de l'étincelle électrique. Un petit tube de

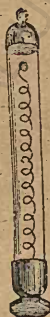


Fig. 99. — Eudiomètre.

verre, à parois épaisses, porte à son extrémité supérieure une calotte métallique, qui se prolonge à l'intérieur par une pointe de platine;

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

dans l'intérieur du tube est disposée une spirale métallique terminée par un bouton. L'appareil rempli d'eau est renversé sur une cuve d'eau et on y fait passer quelques bulles d'oxygène et d'hydrogène, qui forment à la partie supérieure une sorte de chambre vide. Si la spirale est reliée au sol par une chaîne et qu'on approche de la calotte supérieure le bouton d'une bouteille de Leyde, une étincelle se produit et détermine la combinaison des deux gaz pour former de l'eau ; il en résulte un vide aussitôt comblé par l'eau de la cuve qui s'y précipite.

152. **Electro-aimants.** — Diverses expériences peuvent être faites avec les électro-aimants : attraction, diamagnétisme, etc. On constituera un parfait électro-aimant en enroulant un fil de cuivre très fin, recouvert de soie, autour d'un fil de fer doux ; si petit que soit un tel appareil, fortement grossi par la lanterne, il donnera des effets parfaitement perçus par l'auditoire.

Parmi les nombreuses expériences, nous signalerons la suivante : on remplit une cuvette verticale de glycérine et on y projette de la

limaille de fer ; celle-ci tombant avec lenteur dans ce milieu dense, on voit sur l'écran comme une chute de neige noire. Si on introduit dans le liquide un électro-aimant droit, dont le noyau a été prolongé, dès que le courant passe la chute des limailles s'arrête, et celles-ci viennent se disposer, en files régulières, à l'extrémité du noyau, formant un spectre magnétique; en interrompant le courant, les figures se déforment pour se reformer à une nouvelle émission de courant.

153. **Galvanomètres.** — Pour la constatation du passage des courants, on emploie le *galvanoscope;* s'il s'agit de démontrer seulement le passage ou le sens du courant, on se sert d'une aiguille aimantée montée à pivot sur une glace de verre, et qu'on pose sur le condensateur de l'appareil à réflexion totale. La pointe nord de l'aiguille est munie d'un disque de gélatine, et l'autre est convenablement lestée. On tend au-dessus de l'aiguille un fil de cuivre dans lequel devra passer le courant; dès que celui-ci est fermé, l'aiguille est plus ou moins déviée d'un côté ou de l'autre

du fil (loi d'Ampère), suivant le sens et l'intensité du courant. C'est là l'expérience due à Œrstedt (1820).

Si, au contraire, on veut mesurer la force du courant, on se sert du *galvanomètre*, dont le principe a été donné par Schweigger. Il en existe de nombreux modèles, mais le plus commode, pour les expériences de projection, est le suivant (*fig.* 100) :



Fig. 100. — Galvanomètre de projection.

Dans une monture en bois, ayant les dimensions ordinaires des tableaux, on pratique une ouverture carrée de 70 × 70 millimètres. A la partie supérieure est fixée une bobine plate de fil fin, au centre de laquelle oscille un petit aimant horizontal portant en son centre de suspension une aiguille légère. Celle-ci se meut devant un verre qui garnit l'ouverture du tableau et sur

lequel a été photographiée une portion de circonférence graduée, dont le 0 est placé dans l'axe du tableau. Deux bornes extérieures reliées aux extrémités du fil de la bobine servent aux connexions avec la source électrique.

Cet appareil qui s'introduit dans la lanterne comme une vue ordinaire, est des plus commodes ; il est très sensible surtout si on emploie un fil très fin.

III. — Électrolyses

154. **Des électrolyses.** — Le passage d'un courant au travers d'une substance quelconque est capable de donner des effets de décomposition chimique, auxquels *Faraday* a donné le nom d'électrolyses, car ils permettent, en effet, d'analyser électriquement les composants du corps en expérience. On peut, à l'aide de la lanterne de projection, montrer la plupart de ces phénomènes, dont nous citerons les principaux.

155. **Électrolyse de l'eau.** — Dès le commencement du siècle, deux Anglais, Carlisle et Nichol-

son, ont découvert l'électrolyse de l'eau. Une cuve de verre est remplie d'eau légèrement acidulée avec de l'acide sulfurique, pour la rendre plus conductrice : ce mélange doit être fait à part et à l'avance, sinon il se formerait sur les parois de la cuve de nombreuses bulles de gaz, qui produiraient en projection un très désagréable effet. Dans ce mélange, on introduit deux fils de platine, mis en communication avec une petite batterie d'au moins quatre éléments ; il ne faut pas oublier, en effet, que les effets chi-

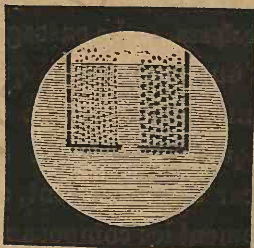


Fig. 101. — Électrolyse de l'eau.

miques demandent une certaine tension, plutôt que de la quantité. D'autre part, il est bon d'interposer dans le courant un commutateur, permettant de changer rapidement le sens du courant.

Dès que celui-ci passe, on voit un des fils se couvrir de fines bulles de gaz, l'autre de bulles beaucoup plus grosses et plus nombreuses : le premier, au pôle positif, est de l'oxygène; le second, au pôle négatif, est de l'hydrogène. Si les fils partent du fond de la cuve et qu'on a renversé sur chacun d'eux de petites éprouvettes remplies d'eau acidulée, on ne tarde pas à constater que le volume de l'oxygène est moitié moindre que le volume de l'hydrogène. L'eau est donc composée d'un volume d'oxygène et de deux d'hydrogène (voltamètre de Faraday).

Si on inverse les pôles, le phénomène se reproduit en sens inverse. Pour les lanternes ordinaires M. Molteni a combiné le dispositif suivant : il emploie une cuve enchâssée dans une monture de bois (voir page 38), et les deux fils sont montés sur une baguette de métal, convenablement isolés, et communiquent avec des bornes de serrage. Les fils sont montés horizontalement, par suite le dégagement des gaz se fait suivant une nappe plus facilement perçue. (Voir *fig.* 101.)

156. **Occlusion par le palladium.** — Un phénomène très intéressant a été découvert par Graham[1] : le palladium, métal du groupe du platine, est capable d'absorber neuf cent trente-six fois son volume d'hydrogène. Si, dans l'appareil précédent, nous remplaçons un des fils de platine par une petite lame de palladium contournée en spirale et dont la face extérieure est platinée ou

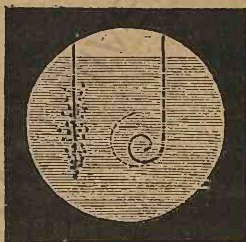


Fig. 102. — Occlusion de l'hydrogène.

vernie et que nous fassions passer le courant, le pôle négatif aboutissant au palladium, nous verrons un afflux de gaz sortir du fil de platine seul ; l'hydrogène, au fur et à mesure de sa pro-

[1] Graham (Thomas), chimiste écossais, né en 1805, mort en 1869, fut directeur de la Monnaie à Londres; il a étudié particulièrement les lois de la diffusion des gaz.

duction, est absorbé par la face nue du palladium et, celle-ci se gonflant peu à peu, la spirale se détord par un lent mouvement (*fig.* 102), jusqu'à ce que, l'absorption étant arrivée à son maximum, le gaz se dégage. Si à ce moment on inverse le courant, l'oxygène, se dégageant du pôle palladium, chasse l'hydrogène qui sort du métal en grosses bulles et la lame reprend sa forme première. Ce phénomène a été appelé par Graham *occlusion*.

157. **Électrolyse des sels.** — Lorsqu'un courant traverse une dissolution saline, il y a encore décomposition : le métal ou la base se porte au pôle négatif, l'acide au pôle positif. On démontre cette action de diverses manières.

1° *Bases et acides.* — On dispose dans la cuve verticale un tube en U rempli d'une dissolution d'un sel neutre de soude ou de potasse légèrement bleui par du tournesol. Deux fils de platine amènent le courant dans l'une et l'autre branche. On voit bientôt l'une d'elles rougir, présence d'un acide. Si on inverse le courant, la seconde branche rougit

à son tour et la première redevient bleue, présence d'un alcali.

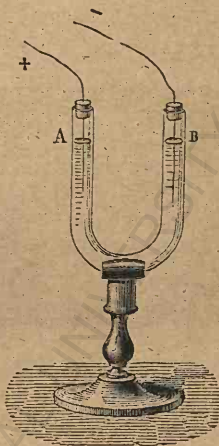


Fig. 103. — Électrolyse des sels.

2° *Galvanoplastie.* — Cette décomposition des sels a été mise à profit par Jacobi [1]; en étudiant la pile Daniell, il fut amené à découvrir le principe de la galvanoplastie. Il n'est guère possible de projeter le phénomène du dépôt

[1] Jacobi (Moritz-Hermann), né en 1801, mort en 1874, physicien allemand, vécut la plus grande partie de sa vie en Russie, étudia les moteurs électriques et construisit le premier bateau électrique, qui fonctionna sur la Neva.

cuivrique, celui-ci se faisant avec une grande lenteur, mais on peut y substituer un métal rapidement décomposé.



Fig. 104. — Principe de la galvanoplastie.

On donne à cette expérience une forme typique en se servant comme rhéophores de fils de cuivre terminés par un faisceau de petits fils de platine, qu'on dispose en éventail. La cuve est remplie d'une solution filtrée de protochlorure d'étain ; dès que le courant passe, l'un des faisceaux se couvre d'une riche végétation métallique, et de l'autre on voit sourdre des filets liquides (acide chlorhydrique) parfaitement visible, à cause de leur différence de densité avec le liquide ambiant. Si on inverse le courant,

le second faisceau se recouvre de métal, tandis que l'arborisation formée sur le premier est attaquée par l'acide chlorhydrique, dans lequel elle se dissout peu à peu.

On peut aussi employer une solution d'acétate de plomb (eau blanche des pharmaciens); mais, si dans le premier cas la formation métallique affectait des formes aiguillées, dans le second, elle prend des formes arrondies presque amorphes. Les alchimistes, qui connaissaient le phénomène, sans en découvrir les causes, appelaient : le premier, *arbre de Jupiter;* le second, *arbre de Saturne.*

IV. — Lumière électrique

158. **Etincelles électriques.** — Lorsqu'on veut projeter les étincelles produites par une machine d'électricité statique ou une bouteille de Leyde, on emploiera un verre très légèrement bleuté sur lequel on étend une légère couche de gomme qu'on saupoudre de limaille de cuivre : un des bords de cette lame est mis en communication

avec le sol. L'étincelle en jaillissant entre les grains de limaille prend un aspect sinueux tout particulier.

159. **Chaleur dégagée par le courant.** — On sait que le courant électrique, en traversant un fil résistant, l'échauffe jusqu'à l'incandescence : on démontre cet effet en mettant dans la cuve de l'eau distillée, qui est peu conductrice, il faut en effet éviter les dérivations du courant par l'eau. On introduit dans le liquide une petite spirale de fil de platine, soudée aux deux extrémités des fils venant d'une forte pile et on fait passer le courant. On ne tarde pas à voir s'échapper du fil des sortes de traînées grisâtres, produites par la différence de densité de l'eau échauffée au contact du fil ; puis, si le courant est assez fort, il se forme sur la spirale des multitudes de petites bulles de vapeur et l'eau se met à bouillir.

160. **Lumière électrique.** — Pour montrer la formation et les particularités de l'arc électrique, si on se sert de l'électricité comme source lumi-

neuse, dans la lanterne, il suffit d'enlever le condensateur et de mettre l'objectif au point sur les charbons.

On reconnaît aussitôt sur l'écran les formes particulières prises par les deux électrodes: le charbon négatif s'effile en pointe, tandis que le positif s'élargit et se creuse en coupelle; de petits globules de silice incandescente bouillonnent à la surface des charbons et sont volatilisés par la chaleur. Il est facile de voir qu'il y a un transport continu du pôle positif au négatif. On montre que la température atteinte dans l'arc est considérable en y introduisant de petits fils de cuivre, de fer, etc., qui sont aussitôt fondus et volatilisés en colorant la flamme d'une lueur propre à chaque métal.

Si on se sert d'une lampe oxhydrique ou au pétrole, on mettra devant le condensateur une petite lampe électrique composée de deux fines baguettes de charbon, tenues horizontalement dans une monture de cuivre, ou simplement deux hélices de fil; on fait passer le courant et on rapproche les deux charbons qu'on disjoint ensuite d'une petite quantité. Il se formera un arc

de très petites dimensions, mais qui sera suffisamment grossi sur l'écran par l'objectif.

161. **Effets divers.** — Il y a encore une série d'autres expériences sur l'électricité qui pourront être facilement projetées : les tubes de Geissler montreront, sinon la lueur propre développée par le passage du courant, tout au moins les stratifications des gaz raréfiés ; citons encore les figures de Lichtenberg, les différentes formes de la décharge électrique, etc.



BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY



CHAPITRE XI

EXPÉRIENCES DIVERSES DE PHYSIQUE

Sommaire : I. Matière et force. — Divisibilité de la matière. — Les forces. — Force centrifuge. — II. Chaleur. — Conductibilité. — Dilatation. — Vapeur. — État sphéroïdal. — III. Hydrostatique. — Équilibre des liquides. — Poussée des liquides. — Mélange des liquides. — Diffusion. — Osmose et endosmose.

Dans le vaste domaine de la physique, il est encore de nombreuses expériences qui peuvent être exécutées avec la lanterne de projection et dont il nous paraît utile de signaler les principales; celles-ci serviront d'exemples pour les similaires, que le conférencier pourrait être amené à exécuter. Nous diviserons ces expériences en trois classes : 1° celles qui sont relatives aux propriétés de la matière; 2° les effets de la chaleur; 3° l'hydrostatique.

I. — Matière et force

162. **Divisibilité de la matière.** — L'extrême divisibilité de la matière peut se démontrer de diverses façons ; l'une des plus faciles est la suivante : dans une cuve pleine d'eau pure, on introduit une goutte d'eau fortement colorée par de l'aniline, fuchsine ou violet Hofmann, et on agite le liquide qui prend une teinte rosée ; on retire avec une forte pipette les trois quarts du liquide et on remplit de nouveau d'eau pure, la teinte devient plus faible ; on recommence à plusieurs reprises, et la teinte persiste toujours, bien que s'affaiblissant, ce qui prouve l'extrême divisibilité de la matière colorante, qui peut être chaque fois appréciée, connaissant le volume initial de la goutte et les volumes successifs d'eau ajoutés.

163. **Les forces.** — Une série de petits appareils faciles à construire seront employés à démontrer les principes généraux des forces : quelques morceaux de fil de fer, des découpures

de cartes serviront à cet objet; l'explication sera au besoin complétée par des diagrammes tracés à la pointe sèche sur verre noirci. Un petit fil à plomb donne les lois de la pesanteur et du pendule; des bandelettes de carton tournant autour d'un axe constitué par une épingle permettent de démontrer les trois cas du levier et les lois de l'équilibre. Une série de billes de verre, suspendues à des fils et se touchant, servent à montrer les lois de l'inertie, de la compressibilité des corps, la transmission des forces, etc. Toutes ces expériences sont rapportées dans les livres de physique, et nous ne nous attarderons pas à les décrire.

164. **Force centrifuge.** — Nous signalerons en terminant une fort jolie manière de montrer les effets de la force centrifuge : une petite sphère de verre, à demi remplie d'un liquide légèrement coloré, est mise devant le condensateur; elle est montée sur un pied portant une poulie à laquelle on peut imprimer un rapide mouvement de rotation à l'aide d'une corde sans fin et d'une poulie à manivelle. Dès que l'appareil

est mis en mouvement le liquide remonte le long des parois de la sphère et se creuse en cône au centre ; les différences de coloration du liquide, suivant son épaisseur, montrent sur l'écran le phénomène d'une façon très nette.

II. — Chaleur

165. **Conductibilité.** — Les corps ont pour la chaleur un pouvoir conducteur qui varie d'un corps à l'autre ; on se sert, pour le démontrer, de l'appareil d'Ingenhousz modifié. Une petite boîte de fer-blanc est munie d'un fond portant des tubulures, fermées par des bouchons : on enfonce dans ceux-ci des tiges de divers métaux, de bois et de verre, et on les recouvre d'une légère couche de cire, en les trempant dans un bain de cette substance fondue : celle-ci étant figée, on met l'appareil devant le condensateur et on remplit la caisse d'eau bouillante ; la cire fond d'autant plus vite et sur une plus grande longueur que la tige est plus conductrice de la chaleur : sur l'écran le phénomène se traduit

par des gouttes de cire coulant et se rassemblant sur les extrémités des tiges.

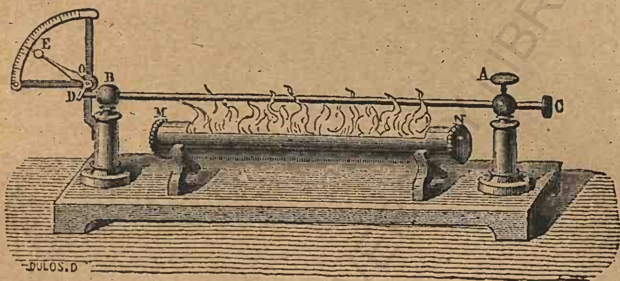


Fig. 105. — Pyromètre.

166. **Dilatation.** — On constitue aisément un *pyromètre*, destiné à montrer la dilatation des métaux par la chaleur, et dont la figure 105 nous donne le dispositif ordinaire, en enfonçant horizontalement une aiguille d'acier dans une petite borne de bois fixée sur une planchette; dans le chas de l'aiguille on passe une seconde aiguille qui vient s'enfoncer dans un bouchon. Ce petit appareil étant placé devant le condensateur, on met un charbon allumé sous l'aiguille horizontale; celle-ci se dilate et, appuyant sur la seconde aiguille, la fait dévier de la verticale;

si on retire le charbon, l'aiguille reprend peu à peu sa position première par suite du refroidissement et du retrait de l'acier. Ces mouvements en réalité sont très petits, mais le grossissement de la lanterne les fait suffisamment constater.

La dilatation des gaz se démontre de plusieurs façons : on peut, par exemple, se servir d'un petit réservoir, en boule, de thermomètre, vide, dont la branche capillaire trempe dans un liquide teinté ; si on chauffe le réservoir à l'aide d'un charbon allumé, on voit l'air sortir sous forme de bulles ; en laissant le réservoir se refroidir le liquide monte peu à peu dans le tube. Des bouillants de Franklin, des thermomètres-tiges, etc., serviront pour la même démonstration.

167. **Vapeur.** — L'ébullition de l'eau, la formation des vapeurs, etc., se projettent aisément sur l'écran et il paraît inutile de décrire les divers appareils qui pourront être employés dans ce but. Mais nous citerons comme application de la force expansive de la vapeur l'appareil schématique construit par M. Molteni et qui sert à expli-

quer la distribution de la vapeur dans les pistons des machines.

Dans une monture ordinaire en bois est comprise, entre deux feuilles de verre, une coupe de corps de pompe avec son piston et son tiroir. Le tube d'introduction de la vapeur communique avec un petit cône latéral dans lequel on introduit une cigarette allumée. Les tiges du piston et du tiroir communiquent avec un levier vertical auquel il suffit d'imprimer un balancement régulier pour que le piston aspire la fumée de la cigarette et que le tiroir la distribue alternativement sur chaque face. Les volutes de fumée, parfaitement visibles sur l'écran, permettent aux spectateurs de saisir d'une façon très nette le mécanisme du phénomène.

168. **État sphéroïdal.** — Lorsque l'eau est mise en contact avec une surface métallique surchauffée, elle s'entoure aussitôt d'une atmosphère de vapeur qui l'empêche de venir au contact du métal et elle prend alors, si elle est en petite masse une forme sphérique : c'est ce que M. Boutigny a appelé l'état *sphéroïdal*.

Pour projeter l'expérience, on se sert d'une petite coupelle de platine mince, dont le fond doit être très légèrement aplati ; on dispose cette coupelle renversée devant le condensateur, c'est-à-dire de manière que la partie convexe soit en dessus et on chauffe avec une lampe à alcool. Lorsque la température a atteint au moins 200°[1], on dépose doucement une goutte d'eau sur le sommet de la coupelle à l'aide d'une pipette à perce fine ; on la soutient un instant pour l'empêcher de glisser et, lorsque l'état sphéroïdal est nettement accusé, on retire la pipette d'un brusque mouvement. On voit alors sur l'écran une mince ligne de lumière passant entre la coupelle et la goutte et celle-ci est animée d'un mouvement de trépidation très marqué. On éteint alors doucement la lampe, l'état sphéroïdal se maintient un instant, puis par suite du refroidissement du métal l'eau vient au contact et se résout brusquement en vapeur. C'est là l'explication de l'éclatement des chaudières surchauffées.

[1] La température que doit atteindre la coupelle doit être d'autant plus forte que le liquide bout à un point plus élevé ; pour l'eau il faut que la coupelle soit au moins à 200°, pour l'alcool à 130 ou 140°, etc.

169. **Chaleur produite par les actions chimiques.** — On démontre encore que la chaleur peut être produite par des actions chimiques de diverses manières, soit qu'on mélange des liquides ensemble, tels que l'eau et l'acide sulfurique, et qu'on constate l'élévation de température à l'aide d'un thermomètre, dont la colonne mercurielle sera facilement perçue en noir sur l'écran, soit qu'on emploie le dispositif suivant.



Fig. 106. — Incandescence du platine dans la vapeur d'alcool.

Au fond d'un verre on verse une petite couche d'alcool absolu, puis dans un disque de carton on fixe l'extrémité d'une petite spirale de platine qu'on porte à l'incandescence dans la flamme d'une lampe à alcool. Si à ce moment on coiffe le verre avec le disque de carton, l'incandescence de la spirale de platine continue par suite du

contact du métal avec les vapeurs de l'alcool. Cette expérience se projette avec la plus grande facilité.

III. — Hydrostatique

170. **Équilibre des liquides.** — Dans le chapitre précédent, nous avons vu quelques expériences sur l'hydrostatique; il en est une série d'autres, telles que l'équilibre des liquides de densités différentes, qui peuvent être projetées. Si dans un tube en U à branches inégales nous mettons de l'eau colorée, l'équilibre s'établit dans les deux branches à la même hauteur, en vertu du principe des vases communiquants.

Si nous déposons dans le tube un peu de mercure, puis qu'on ajoute dans la grande branche de l'eau, le mercure atteindra dans la petite branche un niveau bien inférieur à celui de l'eau de la grande branche : en effet les hauteurs des colonnes de liquides de densités différentes, se faisant équilibre, sont en raison inverse de ces densités.

Si plusieurs liquides, sans action chimique les

uns sur les autres, sont mélangés, ils se superposent par ordre de densité décroissante de haut en bas. Mettons dans un petit tube d'essai de l'huile, de l'eau et du mercure ; agitons et laissons reposer ; en quelques instants, les trois liquides se sépareront en trois couches, la plus légère, l'huile, en haut.

171. **Poussée des liquides.** — Si dans la cuve verticale pleine d'eau on introduit un tube, ouvert

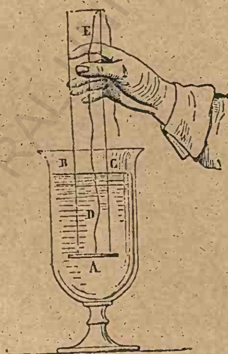


Fig. 107. — La poussée des liquides.

aux deux bouts et dont la partie inférieure est obstruée par un petit disque de carton A, soutenu

par un fil de soie E, la pression de l'eau maintiendra l'obturateur contre le tube et, si la tranche a été bien dressée, par suite de la poussée du liquide pas une goutte d'eau ne pénètrera dans le tube. Introduisons dans celui-ci un peu d'eau très légèrement colorée : tant que le niveau intérieur ne sera pas parvenu à la hauteur du niveau extérieur BC, les deux liquides ne se mélangeront pas ; dès que l'égalité de niveau sera atteinte, le disque tombera de lui-même, la poussée intérieure faisant équilibre ou, si on préfère, annulant la poussée extérieure.

172. **Mélange des liquides.** — La diffusion et le mélange des liquides donne lieu en projection à de merveilleux spectacles dont nous indiquerons les principales variantes.

Dans une cuve verticale pleine d'eau pure, nous introduisons à la surface du liquide, à l'aide d'une pipette effilée, une goutte d'un liquide plus dense et coloré, de l'encre par exemple ; en vertu de la pesanteur l'encre tend à tomber, mais ce mouvement est ralenti par la résistance de l'eau, résistance plus forte sur les

bords qu'au centre, et la goutte colorée ainsi laminée par les frottements prend la forme d'un anneau. Le poids du liquide tend à rompre l'anneau qui se subdivise à son tour en anneaux plus

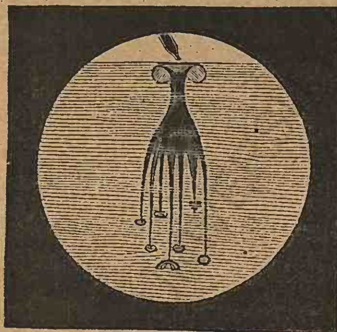


Fig. 108. — Diffusion des liquides.

petits et il se forme une série d'étriers soudés les uns aux autres par de minces traînées colorées, qui produisent au sein du liquide une végétation des plus intéressantes.

On varie cette expérience en déposant à la surface du liquide quelques cristaux d'aniline de différentes couleurs ; l'eau chargée de matière colorante donne lieu au même phénomène et, sur l'écran, des végétations de couleurs diverses

se dessinent en prenant les formes les plus curieuses. On peut au besoin ralentir la formation et la tombée des couronnes en augmentant la densité de l'eau, soit avec un peu de gomme ou mieux avec du sucre.

Si à la surface de l'eau on dépose un petit morceau de glace, le phénomène se reproduira et, par suite de la différence de densité des deux liquides, les volutes de l'eau froide, pénétrant dans l'eau plus chaude, se traduiront en lignes bien définies sur l'écran.

Il en serait de même si on faisait pénétrer un liquide plus léger, mais dans ce cas la pipette très allongée doit descendre jusqu'au fond de la cuve ; on montrera de cette manière la diffusion de l'alcool dans l'eau.

Une variante à ces expériences consiste à remplir la cuve de liquides de densités décroissantes : au fond on dépose une solution concentrée de silicate de soude, par dessus une solution d'eau sucrée, enfin de l'eau pure ; on évite le mélange des divers liquides en laissant la cuve parfaitement immobile et en faisant couler doucement les diverses solutions sur les

parois de la cuve de manière à les faire arriver au contact sans vitesse. La cuve étant ainsi préparée, si on dépose à la surface libre des cristaux d'aniline, le phénomène se produit dans la première couche suivant les règles habituelles; en arrivant au contact de la couche plus dense il y a ralentissement de la chute, les anneaux s'épanouissent, puis recommencent plus lentement à tomber et ainsi de suite.

173. **Diffusion.** — Dans les différents cas cités plus haut il y a, à proprement parler, mélange seulement par action mécanique ; on observe les phénomènes de la diffusion, c'est-à-dire du mélange spontané, de la même manière.

La diffusion est d'ordinaire assez longue à se produire; cependant on peut montrer le phénomène en se servant de l'acide chlorhydrique et de l'eau. Dans le fond de la cuve verticale, vide, on dépose un petit tube d'essai plein jusqu'aux bords d'acide chlorhydrique et on remplit d'eau la cuve; celle-ci doit arriver sans vitesse; on se sert dans ce but d'une poire en caoutchouc terminée par un tube de verre dont on descend l'extrémité

jusqu'au fond de la cuve et, par une pression, très douce et continue, on remplit la cuve. Dès que la couche d'eau dépasse le tube d'essai on voit des filets d'acide dilué pénétrer peu à peu dans l'eau, et le mélange se fait lentement.

174. **Osmose et endosmose.** — Les phénomènes de diffusion sont facilités dans certains cas, lorsque les deux liquides sont séparés par une membrane poreuse ; l'étude de ce mode de mélange a été faite avec détail par Dutrochet, en 1852. Dans une cuve à demi remplie d'eau, on fait pénétrer un petit tube terminé par une petite poche membraneuse remplie d'une dissolution fortement gommée et sucrée ; on ne tarde pas à remarquer que le niveau s'élève dans le tube : il y a *endosmose*, c'est-à-dire pénétration dans la poche membraneuse, et *exosmose*, c'est-à-dire diffusion des matières de la poche vers l'eau ; on constate ce dernier effet en remarquant que, sur l'écran, des sortes de traînées grisâtres semblent sortir de la poche pour se mêler à l'eau.





CHAPITRE XII

LE MICROSCOPE

SOMMAIRE : Généralités. — Cuves d'alun. — Le microscope de projection. — Préparations microscopiques. — Cuves du microscope. — Animalcules vivants. — Biologie. — Expé-iences diverses.

175. **Généralités.** — Lorsqu'on veut étudier la vie des infiniment petits, qu'ils appartiennent au règne végétal ou animal, on se sert du microscope de projection qui fut inventé dès 1743 par Liéberkuyn ; il est à noter que le microscope solaire du savant Danois est en réalité la première forme des appareils de projection actuels. Pour bien réussir les projections microscopiques il est indispensable d'avoir recours à une très forte lumière et la lumière électrique est celle qui réussit le mieux : cependant on peut obtenir de très belles images avec la lumière oxhydrique, mais il est important de régler exactement les chalumeaux et d'aug-

menter la pression des gaz de manière à obtenir à la fois et le maximum de pouvoir éclairant et un point lumineux des plus réduits ; aussi à ce point de vue les becs à mélange, appelés en Angleterre *mixed jets*, sont de beaucoup préférables.

176. **Cuves d'alun.** — Il est, d'autre part, utile de concentrer le faisceau conique fourni par le condensateur en employant une lentille convergente auxiliaire appelée *focus* qui réunit tous les rayons à son foyer, et celui-ci doit se former exactement sur la préparation. Mais il est à remarquer que les rayons lumineux sont toujours accompagnés de rayons calorifiques et ceux-ci, condensés sur l'objet à examiner, ne tarderaient pas à le détruire, si on n'interposait sur le passage un appareil destiné à retenir, sinon la totalité, au moins la plus grande partie de la chaleur.

On se sert dans ce but de cuves à faces parallèles remplies d'une solution d'alun et qui, placées sur le trajet des rayons, absorbent la chaleur, tout en laissant passer la lumière. Si la projection doit durer un certain temps, la solution ne

tarde pas à s'échauffer et même à bouillir et n'a plus d'action efficace; aussi convient-il d'user du dispositif suivant : la cuve doit être exactement close et pourvue de deux tubes dont l'un descend jusqu'au fond de la cuve et l'autre débouche à la partie supérieure. Ces deux tubes communiquent, par des tuyaux de caoutchouc, avec un réservoir rempli d'eau alunée : le premier communique avec le bas du réservoir, le second arrive près du niveau supérieur. Par suite de ce dispositif il s'établit dans tout l'appareil un courant continu de liquide froid plus dense, qui pénètre au fond de la cuve, tandis que la solution chauffée, plus légère, remonte dans le réservoir, où elle se refroidit. D'autre part, il convient de se servir, de préférence, d'alun de soude plus soluble que l'alun de potasse; en effet la solubilité du second est de 8 0/0, celle du premier 110 0/0 d'eau.

177. **Le microscope de projection.** — Il a été établi de nombreux modèles de microscopes de projection, qui ne diffèrent entre eux que par quelques modifications de détail ; ils comprennent essen-

tiellement un large tube à condensateur, qui se

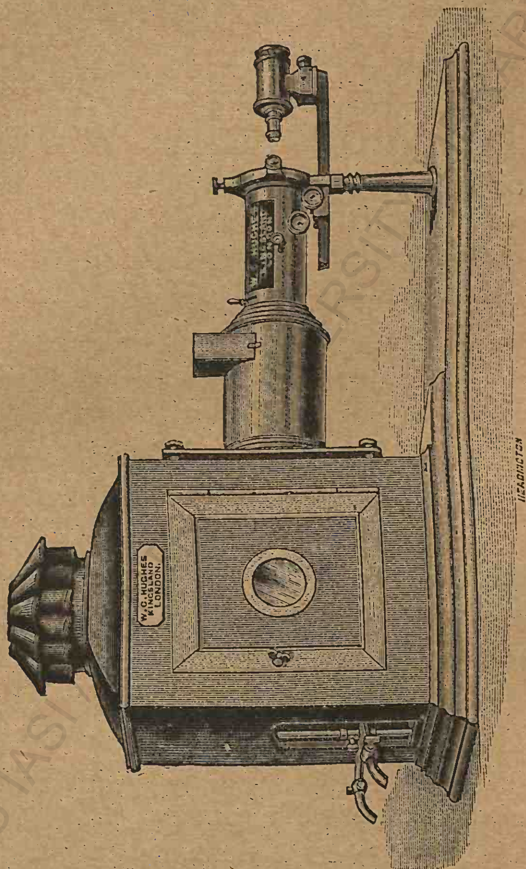


FIG. 109. — Le microscope de projection.

place devant le foyer lumineux et dans lequel

la plupart des constructeurs ont disposé la cuve d'alun ; il est prolongé par un second tube contenant la lentille condensatrice, manœuvrée de l'extérieur par un bouton à crémaillère : sur le devant de ce tube est disposée la platine destinée à recevoir les objets à étudier : cette platine a fait l'objet de nombreuses études pour faciliter le placement des préparations et leur centrage.

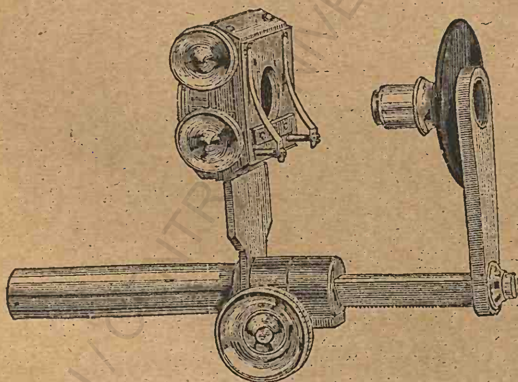


Fig. 110. — Platine de microscope de projection.

En avant de la platine (*fig.* 110) est un chariot carré à crémaillère sur lequel glisse le porte-objectif : celui-ci est composé comme dans les micros-

copes ordinaires et, pour obtenir des grossissements divers, on emploie des objectifs de combinaisons différentes. En avant de ce tube porte-objectif est placé un diaphragme rotatif, percé de plusieurs ouvertures, de façon à éliminer, s'il en est besoin, les rayons marginaux qui donnent du flou à l'image.

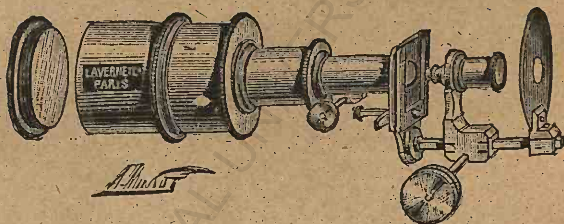


Fig. 111. — Microscope de projection.

On augmente le pouvoir grossissant du microscope ou, plutôt, on agrandit l'image en vissant sur la partie avant du microscope une lentille plan concave, qui étale davantage le pinceau lumineux.

178. **Loupes et doublets de projection.** — S'il n'est pas utile d'avoir recours à de très forts grossis-

sements, exigeant par suite des foyers lumineux très puissants, on peut avoir recours à des microscopes de projection, moins puissants, qu'on nomme *loupes* ou *doublets* de projection.

Ils se composent d'une monture qui se visse sur le cône de l'appareil de projection à la place de l'objectif. Cette monture porte deux fenêtres

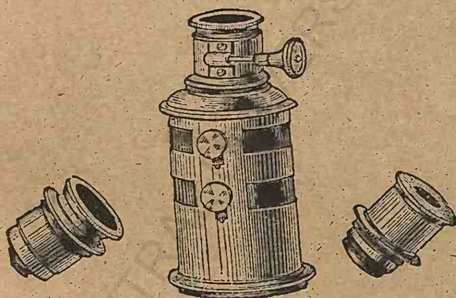


Fig. 112. — Loupes et doublets de projection.

avec plaquettes de pression, manœuvrées de l'extérieur par des boutons et destinées à maintenir les préparations en place ; en avant est un tube à crémaillère dans lequel se vissent des objectifs de pouvoir grossissant différent. Ces appareils se manœuvrent de la même façon que

les objectifs de projection ordinaire et donnent de très belles projections avec un agrandissement suffisant pour la majorité des cas ; un bec oxhydrique suffit pour donner des images très pures et très brillantes.

Nous donnons ici la coupe d'un microscope très convenable pour les grossissements ordinaires. E est la source lumineuse ; le faisceau

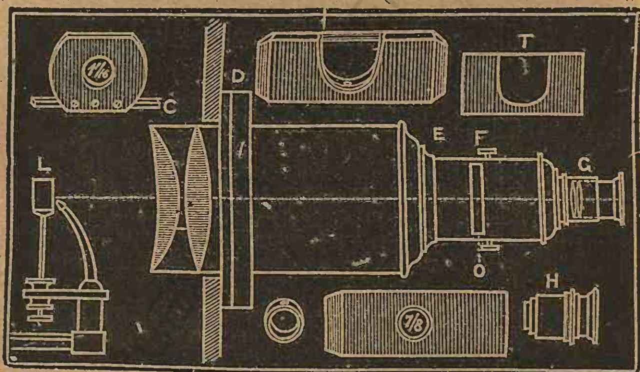


Fig. 113. — Le microscope de projection et ses accessoires.

est repris par le condensateur C de la lanterne et amené en E où un second condensateur rassemble la lumière sur la préparation, glissée dans la fente O et maintenue en place par une

plaquette à ressort manœuvrée par les boutons F. En avant, en G, se visse l'objectif, qui peut être remplacé par un second de plus fort grossissement H. Autour de l'appareil sont disposées les diverses cuves et préparations qui peuvent être employées avec cet appareil.

Telle est en ses grandes lignes la composition générale des microscopes de projection.

179. **Préparations microscopiques.** — Nous ne pouvons entrer ici dans le détail de la fabrication des préparations microscopiques ; le lecteur trouvera ces indications dans les livres spéciaux de micrographie. Nous rappellerons seulement que les préparations doivent être très transparentes ; du reste, le commerce en fournit de fort bien faites, qui donnent de très belles images sur l'écran.

180. **Cuves du microscope.** — Lorsqu'on doit projeter des animalcules aquatiques on se sert de cuves spéciales : les unes sont construites comme celles que nous avons décrites pour les expériences de chimie, mais de dimensions très

restreintes ; les autres se composent d'une lame de cristal au centre de laquelle est pratiquée une cuvette peu profonde, dans laquelle on dépose une goutte du liquide à projeter. On ferme cette cuvette avec une lamelle de verre mince spéciale aux micrographes et qu'il suffit de déposer sur la goutte d'eau par un mouvement latérale pour éviter d'emprisonner des bulles d'air, qui se traduiraient sur l'écran par une tache noire. D'ordinaire la plaque est suffisamment maintenue par l'action de la capillarité ; au besoin, on la fixe à l'aide d'une petite boulette de cire posée à cheval sur les deux verres.

181. **Animalcules vivants.** — Il est assez facile de se procurer ces petits organismes inférieurs; on sait qu'ils pullulent dans tous les points où se produisent des fermentations ou des décompositions de matières organiques.

Si on fait macérer du foin dans de l'eau on obtiendra une série d'animalcules dont les espèces varieront d'une façon très régulière avec les progrès de la fermentation putride. Les conferves, les infusoires, les bactéries de toutes

sortes seront ainsi obtenues, et plus l'eau sera croupie, plus grand sera le nombre de ces étranges organismes végétaux et animaux.

Pour obtenir les anguillules, il suffit de préparer de la colle de pâte et de la laisser aigrir dans un endroit où règne une tiède atmosphère. Les poussières blanches qu'on trouve sur la croûte de certains fromages contiennent tout un monde de petits monstres, crabes à pinces énormes, acarus de toutes sortes, qui, excités, par la chaleur et la lumière de la lanterne, se démènent désespérément pour ne pas tarder à mourir dans ce milieu inaccoutumé.

182. **Biologie.** — A l'aide du microscope il sera facile de montrer certains phénomènes de la vie ; nous n'insisterons pas sur la projection des coupes du tissu osseux, des globules du sang, etc., mais on peut montrer la circulation même du sang. Il suffit de fixer par quelques ligatures une grenouille vivante sur une planchette et d'étaler une de ses pattes palmées sur une lamelle de verre garnissant une ouverture faite dans la planchette. La lumière sera dirigée de

manière à traverser la membrane mince qui unit les doigts ; aussitôt sur l'écran se dessinera le système artériel et veineux qui traverse cette membrane, et il sera facile de suivre à travers les petits vaisseaux la propagation des globules sanguins ; l'expérience est des plus curieuses.

183. **Expériences diverses.** — Nous n'avons pu que citer d'une façon générale les étranges spectacles auxquels donne lieu le microscope ; l'étude des cristallisations des sels, de la conformation interne des minéraux, du tissu des plantes, les délicates structures des plumes, etc.. forment des sujets très intéressants d'études. L'observation avec le microscope de projection est beaucoup moins fatigante qu'avec le microscope ordinaire ; elle a, de plus, l'avantage de pouvoir être faite pour plusieurs spectateurs à la fois qui peuvent constater ensemble les étonnantes transformations des infiniment petits.





TABLE DES MATIÈRES



CHAPITRE I

LES PROJECTIONS SCIENTIFIQUES

CHAPITRE II

LES APPAREILS

CHAPITRE III

LES ACCESSOIRES

CHAPITRE IV

LA CHIMIE EN PROJECTION

CHAPITRE V

L'OPTIQUE EN PROJECTION

CHAPITRE VI

LA LUMIÈRE ET LES COULEURS

CHAPITRE VII

PHÉNOMÈNES DE LA VISION

CHAPITRE VIII

L'ACOUSTIQUE EN PROJECTION

CHAPITRE IX

LA PHYSIQUE MOLÉCULAIRE

CHAPITRE X

L'ÉLECTRICITÉ EN PROJECTION

CHAPITRE XI

EXPÉRIENCES DIVERSES DE PHYSIQUE

CHAPITRE XII

LE MICROSCOPE





INDEX ALPHABÉTIQUE

A

D

I

J

K

L

Q

R

S

T

V

Tours. — Imp. Deslis Frères, rue Gambetta, 6.

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

BCU IASI / CENTRAL UNIVERSITY LIBRARY

